

工學碩士 學位論文

원전어항의 부방파제에 의한 정온도에 관한
재해석

Reinterpretation of Tranquility for the Floating Breakwater
in Won-jeon Port

指導教授 金 度 三

2008年 2月

韓國海洋大學校 大學院

土木環境工學科

金 泰 均

Reinterpretation of Tranquility for the Floating Breakwater in Won-jeon Port

by

Tae Gyoon Kim

**Department of Civil and Environment System Engineering
Graduate School
Korea Maritime University**

ABSTRACT

Because of a shortage in usable space and depletion of resources on land, utilizing the space and resources in the sea is gradually being emphasized as an alternative solution. As the need to develop the ocean water-front has come to the fore, the necessity for building ocean infrastructures that will become the foundation as well as the related hydrophile property, economic feasibility and environment viability are being discussed. In order to improve and maintain water quality within the harbor which has deteriorated because of breakwater construction, there has been a surge in demand for a new type of multidirectional structures that have the hydrophile property and are economically feasible and environmentally viable. The floating breakwater is one of the structures that has drawn interest. As a result, research on the floating breakwater, which is capable of sufficiently satisfying the hydrophile property, economic feasibility and environment viability for the wave environment, has been

carried out extensively, both within and outside this country. In Korea, a floating breakwater has been introduced for the first time. It is under construction in Won-jeon port in Masan.

Typhoon Maemi which occurred on September, 2003 caused serious damage to the southern coastal regions of Korea. Especially at the numerous basins along the coast, overflow due to rising water levels caused an enormous disaster. This has raised the importance of storm surges. In addition, it has led to a change in numerous design guides such as the deepwater design wave condition because of the massive typhoons that have increased in frequency due to global warming. As a result, the need to examine all design elements concerning the sea surrounding Won-jeon port became necessary. Especially for the floating breakwater, which is sensitive to changes in wave period and wave height, reevaluating whether it can handle the changed wave environment and secure its safety became an important issue. In 2006, establishing countermeasures against some overflow that may occur was recommended. by reinterpreting the storm surge height and harbor tranquility with respect to typhoon Maemi. Regarding safety of the floating breakwater, however, it was concluded that while stress that is applied is higher than for existing designs, there were no problems.

The storm surge proposed by the Masan Regional Maritime Affairs & Fisheries Office (2002) for typhoon Sarah and Thelma seems to have been a bit underestimated. The storm surge height presented by Posco Construction (2006) for typhoon Maemi was also determined to be a little underestimated. In the existing design conditions, harbor tranquility was assumed by considering the design wave for the wind wave because of the topographical characteristic that it was a covered coast and the effect of deepwater design wave, a long period wave, was not considered at all.

In this research, from the physical characteristic of the surrounding sea related to existing Won-jeon port development, storm surge height was recalculated with respect

to typhoon Sarah and Maemi which had relatively high storm surge height. The harbor tranquility during typhoon Maemi and under the new deepwater design wave condition was also reevaluated. In order to examine the harbor tranquility due to the deepwater design wave for each frequency, deepwater design wave for frequencies of 10, 30 and 50 years were applied. For estimating the reflection coefficient and transmission coefficient that is applied for calculating the harbor tranquility, storm surge height and water level were considered and reestimated.

원전어항의 부방파제에 의한 정온도에 관한 재해석

김 태 군

韓國海洋大學校 大學院
土木環境工學科

요 약

육지에서 가용공간의 부족과 육상에서 자원고갈의 대안으로 해양에서 공간과 자원의 이용이 점차 강조되고, 해양위터프론트개발의 필요성이 대두되면서 그의 근간을 이루는 해양인프라구축의 필요성과 이에 친수성, 경제성 및 환경성 등이 논의되고 있다. 중력식방파제의 건설로 인하여 악화된 항내수질문제를 개선, 유지할 수 있고, 친수성과 환경성 및 경제성을 갖춘 신형식의 다기능구조물에 대한 필요성이 크게 요구되면서 주목을 받기 시작한 구조물 중에 하나로 부유식구조물(부방파제; floating breakwater)을 들 수 있다. 이에 해역의 파랑환경에 따라 부가된 친수성, 환경성, 경제성 등의 역할을 충분히 담당할 수 있는 부방파제에 관한 연구가 국내·외적으로 널리 수행되어 왔으며, 국내에서는 현재 마산시 원전어항에 부소파제를 처음으로 도입하여 현재 시공 중에 있다.

2003년 9월 태풍 Maemi에 의해 우리나라의 남해안지역에 심각한 피해가 발생하였고, 특히 많은 연안의 저지대에 해면상승에 의한 월류로 막대한 재해가 발생하였다. 이로 인해 폭풍해일의 중요성이 대두되었고, 더불어 지구온난화에 따른 빈번한 대규모의 태풍으로 심해설계파랑조건의 변경 등과 같은 많은 설계지침의 변화를 가져왔다. 그로 인해 원전어항의 주변해역에 대한 설계에서의 제반요소를

재검토할 필요성이 대두되었고, 특히 주기와 파고의 변화에 민감한 부방파제의 경우는 변화된 파랑환경에 기능을 수행할 수 있는지를, 그리고 그의 안정성을 확보할 수 있는지를 재평가하는 것이 중요하게 되었다. 2006년도에 태풍 Maemi의 내습시를 대상으로 폭풍해일고와 항내정온도를 재해석하여 호안에 다소의 월류가 발생하므로 이에 대한 대책의 수립을 권고하고 있다. 그러나, 부방파제의 안정성 문제에 대해서는 기존설계시보다 다소 큰 장력이 부가되지만 그의 안정성에는 문제가 없는 것으로 결론을 내리고 있다.

마산지방해양수산청(2002)에서 제시한 태풍 Sarah 및 Thelma에 대한 폭풍해일고가 다소 과소평가된 측면이 있고, 포스코건설(2006)에서 제시한 태풍 Maemi의 내습에 따른 폭풍해일고 역시 다소 과소평가된 것으로 판단된다. 기존의 설계조건에서 차폐된 해역이라는 지형적 요소로 인해 풍파에 대한 설계파를 고려하여 항내정온도를 추정하였으며, 장주기성의 파랑인 심해설계파랑에 대한 영향은 전혀 고려하지 않고 있다.

본 연구에서는 기존의 원전어항 개발에 따른 주변해역의 해양물리특성에서 폭풍해일고에 대해서는 상대적으로 높은 폭풍해일고가 나타난 태풍 Sarah와 Maemi를 고려하여 폭풍해일고를 재산정하고, 태풍 Maemi시 및 신심해설계파랑의 조건하에 항내정온도를 재평가한다. 이 때, 빈도별의 심해설계파랑에 의한 항내정온도를 검토하기 위하여 10년, 30년, 50년빈도의 심해설계파를 적용하며, 항내정온도의 계산에 적용되는 부방파제의 반사율과 전달율의 추정에 폭풍해일고와 조위를 고려하여 재추정한다.

목 차

ABSTRACT	i
요약	iv
목차	vi
사진 목차	ix
그림 목차	x
표 목차	xiii
SYMBOL	xv
 제1장 서 론	 1
1.1 연구의 배경	1
1.2 연구의 목적	8
1.3 연구의 구성	8
 제2장 원전어항 부방파제의 기존설계서 검토	 9
2.1 폭풍해일고	9
2.1.1 실험의 내용	9
2.1.2 수치모형의 수립	11
2.1.3 실험결과와 비교와 분석	11
(1) 태풍 Thelma(8705)	11
(2) 태풍 Sarah(5914)	13
2.1.4 태풍 Maemi의 내습시에 폭풍해일고	15
2.2 설계파랑	16
2.2.1 설계파랑의 추정	16
2.2.2 설계파랑의 추정결과	18
2.3 정온도	20

2.3.1	파랑변형실험 개요	20
2.3.2	구조물설계파랑의 산정실험	22
(1)	서방파제	23
(2)	동방파제	23
2.3.3	항내정온도실험	23
2.3.4	정온도의 해석결과	33
(1)	구조물설계파랑	33
(2)	항내정온도	33
2.3.5	태풍 Maemi의 내습시에 정온도의 해석결과	35
제3장 원전어항 부방파제의 설계조건에 대한 재해석		37
3.1	폭풍해일고	37
3.1.1	태풍경로 및 조건	37
3.1.2	대상영역	37
3.1.3	수치계산의 검증	42
(1)	기압	42
(2)	폭풍해일고	43
3.1.4	최대폭풍해일고	46
(1)	태풍 Sarah의 내습시에 최대폭풍해일고	46
(2)	태풍 Maemi의 내습시에 최대폭풍해일고	46
3.1.5	최대폭풍해일고에 대한 기존설계서와의 비교	47
3.2	설계파랑	47
3.2.1	대상영역 및 설계파랑조건	47
3.2.2	부방파제에 의한 반사율과 전달율의 추정	52
3.3	정온도	53
3.3.1	10년빈도	53
3.3.2	30년빈도	56
3.3.3	50년빈도	56
3.3.4	Maemi의 내습시	60
3.3.5	기존설계서의 결과와 정온도의 비교	61

제4장 결 론	63
<참고문헌>	64

사진 목차

사진-1.1 부방파제의 제작현장	5
사진-1.2 부방파제의 제작현장	5
사진-1.3 부방파제의 제작현장	6

그림 목차

그림-1.1 원전어항의 주변해역	2
그림-1.2 원전어항 개발 후의 모습	3
그림-1.3 태풍 Maemi에 의한 원전어항의 피해	4
그림-2.1 폭풍해일에 의한 수위상승의 분포도(태풍 Thelma)	12
그림-2.2 폭풍해일에 의한 수위상승 분포도(태풍 Sarah)	14
그림-2.3 주풍향별의 대안거리	17
그림-2.4 대안-1(채택안)에서 구조물별의 반사율	22
그림-2.5 구역분할도	24
그림-2.6 동방과제에서 설계파의 산정실험(S56.25°W, 대안-1)	25
그림-2.7 동방과제에서 설계파의 산정실험(S22.5°W, 대안-1)	26
그림-2.8 대안-1에서 항내정온도의 실험결과(S56.25°W)	27
그림-2.9 대안-1에서 항내정온도의 실험결과(S22.5°W)	28
그림-2.10 대안-1에서 항내정온도의 실험결과(E)	29
그림-2.11 대안-1에서 항내정온도의 실험결과(S75°W)	30

그림-2.12 대안-1에서 항내정온도의 실험결과(SW)	31
그림-2.13 구역별의 파고분포도(대안-1)	32
그림-2.14 파랑수치모형실험의 결과분석지점	36
그림-3.1 태풍 Sarah의 경로	38
그림-3.2 태풍 Maemi의 경로	38
그림-3.3 폭풍해일의 계산영역	40
그림-3.4 각 영역에서 수심의 공간분포	42
그림-3.5 태풍 Maemi 내습에 따른 기압의 관측치와 계산치의 비교	44
그림-3.6 태풍 Maemi 내습시 폭풍해일고의 관측치와 계산치의 비교	45
그림-3.7 최대폭풍해일고의 공간분포	46
그림-3.8 SWAN의 계산에 적용되는 계산영역	48
그림-3.9 각 영역에서 수심의 공간분포	49
그림-3.10 부방파제의 반사율과 전달율	53
그림-3.11 10년빈도의 설계파에 의한 항내정온도	55
그림-3.12 30년빈도의 설계파에 의한 항내정온도	58
그림-3.13 50년빈도의 설계파에 의한 항내정온도	60

그림-3.14 태풍 Maemi 내습시의 항내정온도	61
-----------------------------------	----

표 목차

표-2.1 폭풍해일 실험의 개요	10
표-2.2 폭풍해일실험에 적용된 모델태풍의 개요	11
표-2.3 폭풍해일고에 대한 실험치와 기존자료와의 비교(태풍 Thelma, 8705) ...	13
표-2.4 폭풍해일고에 대한 실험치와 기존자료와의 비교(태풍 Sarah, 5914)	13
표-2.5 폭풍해일고에 대한 실험치와 기존자료와의 비교(태풍 Maemi, 0314) ...	15
표-2.6 재현빈도별-풍향별의 풍속	17
표-2.7 풍향별-구간별의 대안거리, 유효취송거리 및 평균수심	18
표-2.8 Bretschneider법에 의한 재현빈도별-파향별의 풍파추산결과	19
표-2.9 재현기간별로 추산된 원전어항의 인근해역에서 풍파	19
표-2.10 원전어항에서 파랑변형실험의 개요	21
표-2.11 서방파제(도제)에서 설계파의 추출결과	22
표-2.12 동방파제(부방파제) 설계파 추출결과	23
표-2.13 구조물의 설계파산정결과	33
표-2.14 항내정온도 결과	34

표-2.15 항내파고분포의 비교	36
표-3.1 태풍 Sarah의 특성	39
표-3.2 태풍 Maemi의 특성	39
표-3.3 각 영역에서 격자의 크기	40
표-3.4 태풍 Sarah와 Maemi의 내습시에 최대폭풍해일고	47
표-3.5 태풍별 최대폭풍해일고의 비교	47
표-3.6 각 영역에서 격자의 크기 및 개수	49
표-3.7 태풍 Maemi의 내습시에 설계조위	50
표-3.8 원전어항에 적용되는 심해설계파의 제원<NO. 50>	50
표-3.9 원전어항에 적용되는 심해설계파의 제원<NO. 51>	50
표-3.10 원전어항에 적용되는 심해설계파의 제원<NO. 52>	51
표-3.11 원전어항에 적용되는 심해설계파의 제원<NO. 53>	51
표-3.12 원전어항에 적용되는 심해설계파의 제원<NO. 54>	52
표-3.13 원전어항에 적용되는 심해설계파의 제원<NO. 6360>	52
표-3.14 항내정온도의 계산결과의 비교	62

SYMBOL

C_r	반사율
C_t	전달율
H	파고
P_a	대기압력항
P_c	태풍의 중심기압
ΔP	기압심도
P_r	태풍의 중심으로부터 r 만큼 떨어진 점에서의 기압
r	등압선의 곡률반경
r_0	태풍반경
T	주기

1. 서론

1.1 연구의 배경

육지에서 가용공간의 부족과 육상에서 자원고갈의 대안으로 해양에서 공간과 자원의 이용이 점차 강조되고, 해양위터프론트개발의 필요성이 대두되면서 그의 근간을 이루는 해양인프라구축의 필요성과 이에 친수성, 경제성 및 환경성 등이 논의되고 있다. 따라서, 기존의 중력식방파제에 친수성과 환경성을 부가한 여러 형식의 방파제가 개발되어 주어진 기능을 원활히 수행하지만, 막대한 공사비와 건설로 인한 해역환경의 변화 등을 고려하면 반드시 적합한 구조물이라고는 할 수 없다. 중력식방파제의 건설로 인하여 악화된 항내수질문제를 개선, 유지할 수 있고, 친수성과 환경성 및 경제성을 갖춘 신형식의 다기능구조물에 대한 필요성이 크게 요구되면서 주목을 받기 시작한 구조물 중에 하나로 부유식구조물(부방파제; floating breakwater)을 들 수 있다. 중력식구조물에 비해 부유식구조물은 파랑 에너지가 집중되는 자유수면하 20% 정도에 부체를 띄워 입사파랑을 제어한다는 측면에서 무엇보다 대수심해역에 적합하고, 해수의 흐름을 방해하지 않아 항내오염을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 조위차가 큰 해역에도 항상 동일한 천단고를 유지하여 선박의 계류 등에도 유리하며, 지진의 피해를 최소화할 수 있고, 시공성이 우수하며, 연약지반상에서도 쉽게 건설될 수 있다는 장점이 있다. 해역의 파랑환경에 따라 부가된 친수성, 환경성, 경제성 등의 역할을 충분히 담당할 수 있는 부방파제에 관한 연구가 국내·외적으로 널리 수행되어 왔으며(예로, 포스코건설과 대한토목학회, 2005), 국내에서는 현재 마산시 원전 어항에 부소파제를 처음으로 도입하여 현재 시공 중에 있다(마산지방해양수산청, 2002; 포스코건설, 2003).

대상해역은 경상남도 마산시 구산면 심리 원전어항을 중심으로 한 전면해역의 일대이

며, 주변해역의 위치를 그림-1.1에 나타낸다. 원전어항의 일대는 가덕수로와 건내랑해협으로 외해와 연결된 반폐쇄형의 내만으로 이루어진 진해만에 위치하고 있다. 원전어항은 1999년 1월에 지방어항에서 국가어항으로 변경·지정되었으나 어항내의 접안시설과 외곽시설의 미비로 파랑의 내습시에 항내정온수역의 미확보로 어항의 기능이 미비한 실정이었다. 원전어항의 전면에는 실리도와 초애섬이 위치하고 있으며, 초애섬측으로 최대수심 15m, 평균수심 13m를 유지하고 있다.



그림-1.1 원전어항의 주변해역

원전어항의 개발에 따른 주변해역에는 부방파제로 건설되는 동방파제, 서방파제, 북방파제, 물양장, 돌제, 선양장, 친수호안, 소형선의 계류시설 및 부잔교가 건설되며, 이러한 구조물이 설치된 후에 원전어항 주변의 조감도를 그림-1.2에 나타낸다(마산지방해양수산청, 2002). 따라서, 구조물의 적절한 배치, 해양물리에 대한 제반사항과 해안공학적인 해

역환경의 변화특성을 규명하기 위하여 장기충별조류관측, 단기충별조류관측, 충별부유사 관측, 공간부유사관측, 부표추적 및 해저질조사 등의 해양조사와 파랑변형, 해수유동, 해수교환, 폭풍해일, 부유사확산 및 퇴적물이동에 대한 수치모형실험과 항내정온수역의 확보 및 항만이용성의 검토, 서방파제 및 동방파제(부방파제)의 단면형식에 따른 항내정온도의 확보와 파랑의 전파특성을 검토하기 위하여 수리모형실험을 실시하였다.



그림-1.2 원전어항 개발 후의 모습

그러나, 2002년의 계획 및 설계 이후로 그림-1.3에 나타내는 바와 같이 태풍 Maemi에 의한 많은 피해와 심해설계파랑조건의 변경(한국해양연구원, 2005) 등으로 원전어항의 주변해역에 대한 설계에서의 제반요소를 재검토할 필요성이 대두되었고, 특히 주기와 파고의 변화에 민감한 부방파제의 경우는 변화된 파랑환경에 기능을 수행할 수 있는지를, 그리고 그의 안정성을 확보할 수 있는지를 재평가하는 것이 중요하게 되었다.

따라서, 2006년도에 태풍 Maemi의 내습시를 대상으로 폭풍해일고와 항내정온도를 재 해석하여 호안에 다소의 월류가 발생하므로 이에 대한 대책의 수립을 권고하고 있다. 그러나, 부방파제의 안정성 문제에 대해서는 기존설계시보다 다소 큰 장력이 부가되지만 그의 안정성에는 문제가 없는 것으로 결론을 내리고 있다.

태풍 Maemi시 폭풍해일고의 추정이 정확하지 않고, 정온도의 해석에 대안거리로 파고와 주기를 산정하는 수법을 적용하고 있으므로 외해에서의 장주기성의 파랑과 경도풍의 풍향 등이 정확히 고려되지 않았다는 측면에서 다소 차이가 있을 수 있다고 판단된다.

사진-1.1~1.3은 현재 제작중에 있는 부방파제의 전경을 나타낸다.



그림-1.3 태풍 Maemi에 의한 원전어항의 피해



사진-1.1 부방파제의 제작현황



사진-1.2 부방파제의 제작현황



사진-1.3 부방파제의 제작현황

1.2 연구의 목적

2003년 9월 태풍 Maemi에 의해 우리나라의 남해안지역에 심각한 피해가 발생하였고, 특히 많은 연안의 저지대에 해면상승에 의한 월류로 막대한 재해가 발생하였다. 이로 인해 폭풍해일의 중요성이 대두되었고, 더불어 지구온난화에 따른 빈번한 대규모의 태풍으로 심해설계파랑조건의 변경 등과 같은 많은 설계지침의 변화를 가져왔다. 전술한 그림-1.3에서 알 수 있듯이 원전어항의 인근지역 역시 심각한 피해가 발생하였으며, 이에 따라 전술한 바와 같이 태풍 Maemi에 대한 파랑의 기본특성의 검토와 태풍 Maemi시의 외력조건을 고려하여 건설예정인 부방파제의 안정성과 항내정온도의 확보에 대한 재검토를 실시하였다(포스코건설, 2006). 그러나, 마산지방해양수산청(2002)에서 제시한 태풍 Sarah 및 Thelma에 대한 폭풍해일고가 다소 과소평가된 측면이 있고, 포스코건설(2006)에서 제시한 태풍 Maemi의 내습에 따른 폭풍해일고 역시 다소 과소평가된 것으로 판단된다. 기존의 설계조건에서 차폐된 해역이라는 지형적 요소로 인해 풍파에 대한 설계파를 고려하여 항내정온도를 추정하였으며, 장주기성의 파랑인 심해설계파랑에 대한 영향은 전혀 고려하지 않고 있다(마산지방해양수산청, 2002).

본 연구에서는 기존의 원전어항 개발에 따른 주변해역의 해양물리특성에서 폭풍해일고에 대해서는 상대적으로 높은 폭풍해일고가 나타난 태풍 Sarah와 Maemi를 고려하여 폭풍해일고를 재산정하고, 태풍 Maemi시 및 신심해설계파랑의 조건하에 항내정온도를 재평가한다. 이 때, 빈도별의 심해설계파랑에 의한 항내정온도를 검토하기 위하여 10년, 30년, 50년빈도의 심해설계파를 적용하며, 항내정온도의 계산에 적용되는 부방파제의 반사율과 전달율의 추정에 폭풍해일고와 조위를 고려하여 재추정한다.

1.3 연구의 구성

본 연구는 총 4장으로 구성되며, 각 장에서 기술되는 내용은 다음과 같다.

제1장에서는 본 연구의 배경, 목적 및 구성에 대해서 기술하였으며, 특히 기존설계서에서의 항내정온도, 폭풍해일 및 부방파제의 안정성과 같은 설계요소의 변화과정 등을 간단히 요약하였고, 동시에 재평가할 필요성에 대해 언급하였다.

제2장에서는 원전어항의 개발에 따른 기존설계서의 결과(폭풍해일고, 설계파랑, 항내정온도, 부방파제의 운동 및 계류장력)를 간략히 기술한다.

제3장에서는 본 연구에서 수행하는 원전어항의 주변해역에서 폭풍해일고, 파랑특성, 항내정온도 등과 같은 여러 가지의 설계요소에 대한 제반특성들을 재해석한 결과를 제시한다.

제4장에서는 이상으로부터 도출된 중요한 사항을 요약하여 본 연구의 결론으로 하고, 향후 해결과제에 대해서 기술한다.

마지막으로 본 연구에 있어서 참고하고 인용한 주요한 문헌을 제시한다.

2. 원전어항 부방파제의 기존설계서 검토

2.1 폭풍해일고

2.1.1 실험의 내용

태풍 혹은 발달한 저기압에 수반되는 폭풍과 현저한 기압강하로 인하여 해안에서 수위가 현저히 상승하는 현상을 폭풍해일(이상고조, storm surge)이라 한다. 일반적으로 열대성저기압이나 온대성저기압에 동반하여 이상고조가 발생한다는 주지의 사실로부터 알 수 있듯이 폭풍과 현저한 기압강하가 이상고조의 주요한 발생원인이며, 해저지형과 해안형상이 폭풍해일의 발달을 지배하는 특별한 요인이 되기도 한다. 폭풍해일은 외해에서도 발생하기도 하지만, 실제로는 진해만과 같은 반폐쇄형의 내만에 조석의 만조와 중복되어 일어나면 수위가 매우 높아지게 된다. 특히, 이와 같은 현상은 태풍의 진로가 내만의 좌측에 위치하는 경우 취송거리내의 해수수송에 의한 퇴적현상과 기압강하에 의해 일어나게 되며, 이 때 외곽시설이 파괴되기도 하고, 어선의 물양장 등과 같은 접안시설과 연안시설 및 인명 등에 큰 피해를 끼치기 때문에 어항구조물의 설치, 계획 등에 있어서 고려하지 않으면 안될 주요한 설계조건이 된다. 진해만내의 이상해면에 대한 변화량은 진해항 검조소의 조위실측자료로부터 보고되어지고 있으며, 이에 의하면 진해항에서 1959년부터 1976년까지 50cm 이상의 발생회수는 총 6회로 년평균 0.3회 나타났으며, 발생원인은 태풍과 열대성저기압에 의한 것으로 알려져 있다. 특히, 1959년 9월에 발생한 태풍 Sarah는 우리나라에 영향을 미친 태풍 중에 초 A급 태풍으로서 1959년 9월 16일~9월 17일 사이에 우리나라 남해안의 일원을 통과하여 낙동강 등이 범람하였으며, 이 때에 부산기상대의 자료에 의하면 최대풍속 34.7m/sec(풍향 ENE), 최저기압 951.5hPa에 달하여 당시 기상관측 개시 이래 최저기압치를 기록하였다. 추(1987)는 한반

도 연안의 검조소에서 관측된 20년간의 조위자료를 이용하여 우리나라 각 항별 해일의 크기와 발생원인을 제시하였으며, 진해항에서는 태풍 Sarah(1959)시에 86cm의 폭풍해일이 나타났음을 보고하였으며, 진해만내에 큰 피해를 입힌 태풍으로서는 1987년 7월에 발생한 태풍 Thelma가 있으며, 1987년 7월 16일 01시에 본 대상해역으로부터 북서쪽으로 100km 떨어진 지점을 통과하여 막대한 재산피해를 입혔고, 이 때 대상해역부근에서는 최대풍속 24.3m/sec(풍향 SSW), 최저기압 985.8hPa를 기록하였다.

따라서, 기왕의 태풍자료 중에서 본 대상해역에 가장 큰 영향을 미친 태풍 Sarah(1959)와 태풍 Thelma(1987)을 모델태풍으로 선정하여 인근의 관측자료와 추산치를 비교·검토하였으며, 표-2.1에 기존설계서에서 검토하고 있는 폭풍해일실험의 개요를 나타낸다.

표-2.1 폭풍해일 실험의 개요

항 목	내 용
실험 목적	<ul style="list-style-type: none"> · 폭풍해일에 의한 대상지의 인근해역에서 이상조위현상의 재현 · 설계조위면의 결정에 자료제공 · 최적의 설계를 위한 기초자료제공
적용 모형	2차원 유동장모형(Falconer Model: ADI 법)
모델 범위	76.0km×48.0km=3648km ²
격자체계	400m 등간격(총 격자수 : 22,800개)
모델 태풍	태풍명 : Sarah(1959) 발생일 : 1959년 9월 15일 중심기압 : 951.5hPa 풍속 : 34.7m/sec 풍향 : ENE
	태풍명 : Thelma(1987) 발생일 : 1987년 7월 15일 중심기압 : 985.8hPa 풍속 : 24.3m/sec 풍향 : SSW
조석조건	약최고고조위(D.L.(+)216.8cm)
실험안	현재상태

2.1.2 수치모형의 수립

지배방정식을 유한차분법으로 수치해석하였다. 이에 Falconer(1986)의 ADI법을 사용하였으며, 외력조건으로 대기압력항(Pa)과 바람응력항을 추가하여 수위를 계산하였다. 모형의 각 계산격자점에서 매 시간간격마다 수위, 바람 및 압력 등과 같은 주어진 외력조건에 대하여 x, y 방향의 유속과 수위를 계산하고, 이로부터 폭풍해일에 따른 수위변동량을 해석하였다. 수치모형으로부터 폭풍해일에 의한 해면상승량을 예측하기 위해서 지금까지 진해만의 인근해역에 영향을 미친 태풍 가운데 Sarah(1959)와 Thelma(1987)을 선정하여 관측치와의 비교·검토로부터 수치해석의 결과를 검증하였으며, 이 때 실험대상영역은 해수의 수송을 고려하여 충분한 취송거리가 확보되도록 광역의 격자망을 사용하였고, 이를 통해 바람장과 기압장에 의한 이상해면상승량을 예측하였다. 실험대상영역은 진해만 및 부산항의 일대를 포함한 동서 76.0km, 남북 48.0km에 이르는 해역을 설정하였으며, 400m의 정방격자를, 간격으로 총 22,800개(190×120)의 격자망을 구성하였다.

조석조건은 약최고고조위(DL.(+) 216.8cm)를 대상으로 하였으며, 폭풍해일의 수치모형 실험에 사용된 모델태풍의 개요를 표-2.2에 제시한다.

표-2.2 폭풍해일실험에 적용된 모델태풍의 개요

태풍명	발생일	중심기압(hPa)	최대풍속(m/s)	풍향
Sarah(5914)	1959. 9. 15	951.5	34.7	ENE
Thelma(8705)	1987. 7. 15	985.8	24.3	SSW

2.1.3 실험결과와 비교와 분석

(1) 태풍 Thelma(8705)

1987년 7월 태풍 Thelma에 의한 부산항 및 진해만 일대의 폭풍해일에 의한 이상해면상승량을 그림-2.1에 제시한다. 부산항 검조소가 위치한 부산 남항 부근해역에서 13cm의 수면상승이 예측되었으며, 가덕도의 임시검조소에서 60cm가 관측되었고, 본 수치계산 실험치에 의하면 55~60cm로 예측되어 인근 연안의 기 관측자료 및 추정치와 비교하여 대체로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 이에 근거하여 본 대상해역인 원전어항에서 폭풍해일에 의한 수면상승고는 50~57cm가 예측되었다. 실험결과에 의하면 진해만내에서 동에서 서측으로 갈수록 해면상승이 작아짐을 보여주고 있으며, 태풍 Thelma시에 폭풍

해일에 의한 수면상승고를 표-2.3에 제시한다.

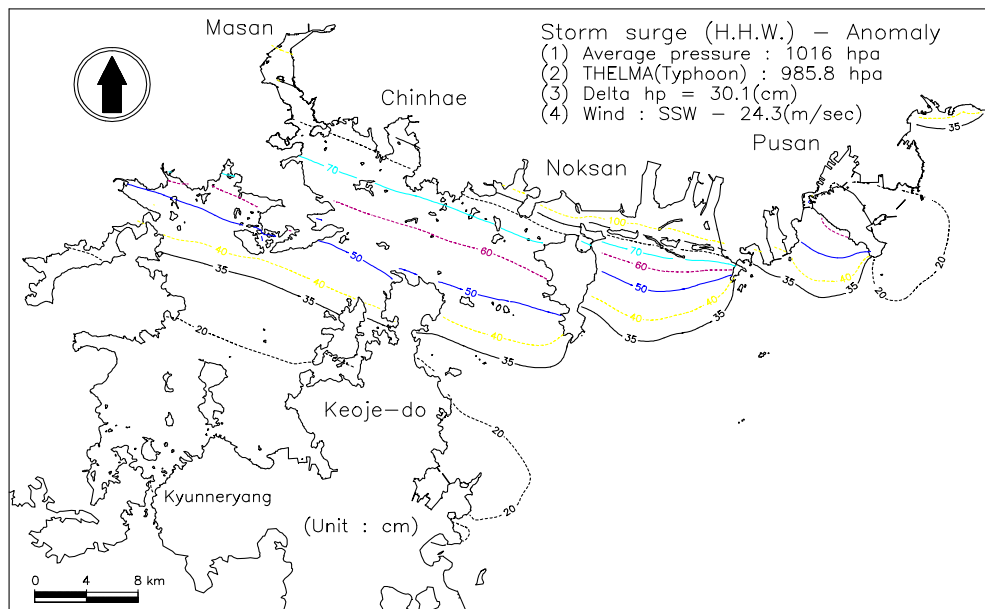
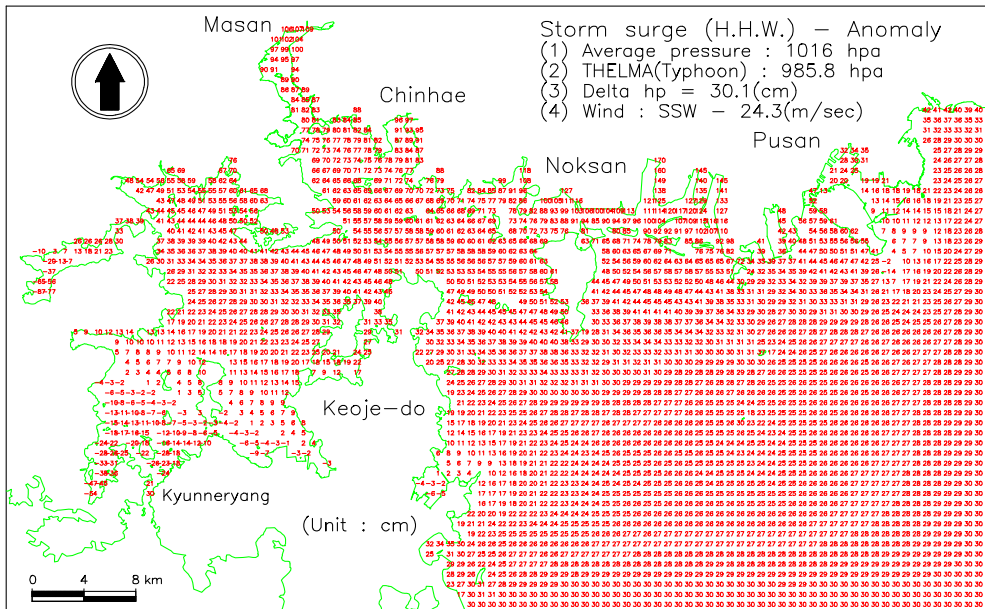


그림-2.1 폭풍해일에 의한 수위상승의 분포도(태풍 Thelma)

표-2.3 폭풍해일고에 대한 실험치와 기존자료와의 비교(태풍 Thelma, 8705)

구 분	관측치 (cm)	금 회 실험치 (cm)	비 고
부산항 검조소	15	13	
가덕도(임시)	60	55 ~ 60	
원 전 어 항	-	57	

(2) 태풍 Sarah(5914)

1959년 9월 태풍 Sarah에 의한 부산항 및 진해만 일대의 계산영역에서 바람과 기압장을 고려한 폭풍해일에 의한 이상해면상승량을 그림-2.2에 제시한다. 결과에 의하면 진해만내에서 폭풍해일에 의한 수위상승은 동에서 서측으로 갈수록 완만하게 상승하고 있으며, 진해·마산항에서 80cm 정도로 상승하였다가 견내량해협측으로 갈수록 상승하여 견내량 부근에서는 100cm 정도의 이상해면상승이 예측된다. 부산항 검조소가 위치한 부산 남항 부근해역에서 55~60cm의 수면상승이 예측되었으며, 이 때 관측치는 60cm로 나타나 인근 연안의 기 관측자료 및 추정치와 비교하여 대체로 잘 일치하고 있으며, 태풍 Sarah(1959)의 내습시에 본 원전어항의 인근해역에서 폭풍해일에 의한 수면상승고는 80~83cm로 추산되었다. 본 원전어항에 영향을 미친 태풍에 의한 수면상승량을 선정된 모델태풍 Sarah와 Thelma에 대해 수치계산한 결과, 충분한 취송거리의 확보 및 최대풍속이 상대적으로 큰 태풍 Sarah의 영향이 보다 큰 것으로 예측되었다. 원전어항과 인접한 진해항의 관측치가 86cm로 본 실험치의 80~83cm와 잘 일치하고 있으며, 태풍 Sarah에 의한 이상수면상승고를 표-2.4에 제시한다.

표-2.4 폭풍해일고에 대한 실험치와 기존자료와의 비교(태풍 Sarah, 5914)

구 분	관측치 (cm)	금 회 실험치 (cm)	비 고
부산항 검조소	60	55 ~ 60	원전어항 채택: 86cm
진 해 항	86	80	
원 전 어 항	-	80 ~ 83	

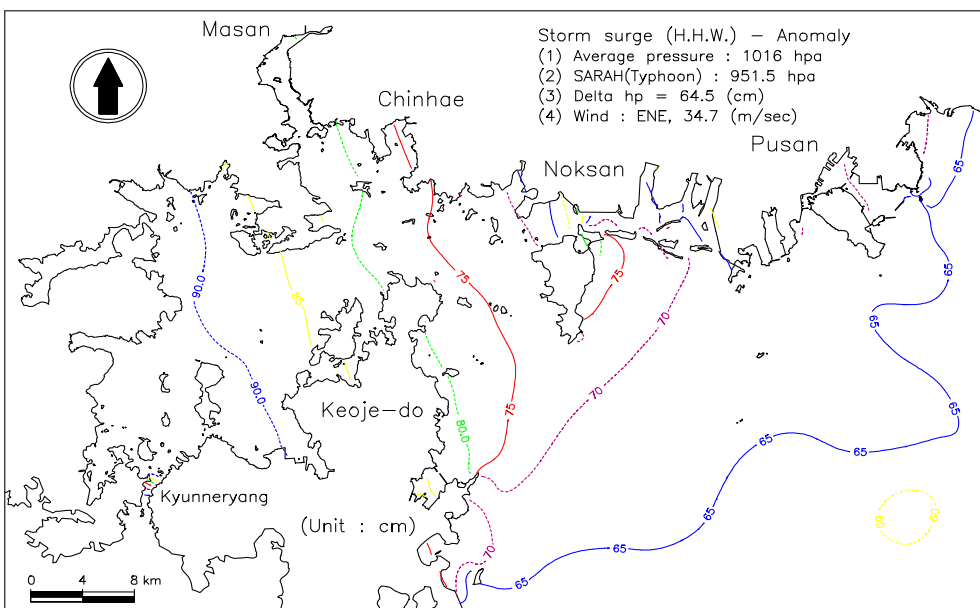
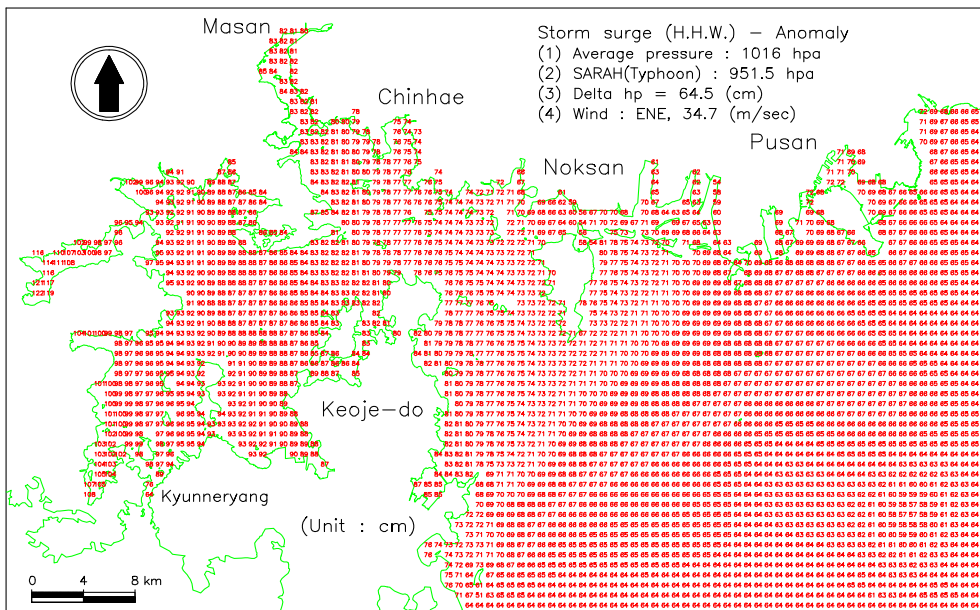


그림-2.2 폭풍해일에 의한 수위상승 분포도(태풍 Sarah)

태풍에 의해 해수퇴적이 충분히 가능한 취송거리를 고려하여 부산항 및 진해만 해역에서 폭풍해일에 의한 해면상승량을 수치계산하였으며, 모델태풍으로 선정된 태풍 Thelma(8705)와 태풍 Sarah(5914)에 대해 검토한 결과, 태풍 Thelma의 경우는 진해만내에서 동에서 서측으로 갈수록 해면이 완만히 하강하고 있었으며, 본 원전어항의 부근에

서는 최대 57cm의 수면상승이 예측되었다. 태풍 Sarah의 경우는 진해만내에서 폭풍해일에 의한 수위상승은 동에서 서측으로 갈수록 완만하게 상승하고 있으며, 진해만의 입구 부인 가덕수로에서 75cm 정도, 진해·마산항에서 80cm 정도로 상승하였다가 견내랑해협측으로 갈수록 상승하여 견내랑 부근에서는 100cm 정도의 이상해면상승이 예측되었다.

원전어항의 인근해역에서 폭풍해일에 의한 수면상승고는 80~83cm로 추산되어 부산 및 진해항에서의 관측치와 잘 일치하였다. 따라서, 본 대상해역과 가장 인접한 진해항에서 관측치인 86cm를 설계에 적용하였다.

2.1.4 태풍 Maemi의 내습시에 폭풍해일고

2003년 9월에 내습한 태풍 Maemi가 대상해역의 인근지역에 심각한 피해를 입힘으로써 설계조건의 재검토와 부방과제의 안정성을 재평가하였다(포스코건설, 2006).

수치적인 방법과 대상해역의 인근검조소에서 관측치를 바탕으로 태풍 Maemi에 의한 해일고를 분석하였으며, 그 결과를 표-2.5에 나타낸다.

표-2.5 폭풍해일고에 대한 실험치와 기존자료와의 비교(태풍 Maemi, 0314)

위 치	추 정 치 (cm)	관 측 치 (cm)	해 일 고 편 차
부 산 신 항 전 면	100	119	
마 산 만 인 근	180	181	
원 전 어 항 인 근	127	121~127	$\Delta h = (+)35 \sim 41$

2.2 설계파랑

2.2.1 설계파랑의 추정

원전어항은 가덕도와 거제도 등으로 둘러싸인 진해만내에 위치하고 있으며, 만내에서도 지형이 복잡하고, 구산반도와 실리도 및 초애섬에 의해 부분적으로 둘러싸여 있는 내만에 입지하고 있다. 따라서, 태풍 등에 의해 발생한 심해파랑이 내습하는 경우에 지형적 차폐물에 의해 거의 차폐되어 거의 파랑의 영향이 없다. 내만에 위치할 경우 계절풍 등과 같은 국지풍의 풍속, 지속시간, 수심 및 취송거리로부터 파고 및 파향을 결정하는 풍파추정법에 의해 천해파를 추산하여야 한다. 풍파모형을 통해 파랑을 추산하기 위해서는 해상풍의 결정이 가장 중요하며, 해상풍의 추정방법은 육상의 관측자료를 해상풍으로 변환하는 방법과 기압장 등의 자료를 사용하여 산출하는 방법이 있으며, 이들 관측 또는 추정된 바람을 전단응력으로 전환하기 위하여 고도의 보정, 지속시간의 보정, 대기안정도의 보정, 지역(위치)의 보정 등 여러 가지 요소를 고려하여 보정하여야 한다 (SPM, 1984; ACES, 1991).

재현빈도별 설계풍속의 결정을 위한 관측풍의 자료는 통영지방기상대(관측지점 162)에서 1968년부터 2000년까지 관측된 최대풍속자료를 사용하였으며, 이 자료를 이용하여 극치분석에 의해 통계처리한 재현빈도별-풍향별의 풍속을 표-2.6에 제시한다. 사용된 극치분포는 F-T Type I, Gumbel 분포, Weibull 분포($C=1.0, 1.2, 1.5, 2.0$) 등에 의한 결과 중에 가장 적합한 분포형을 선택하였다. 설계파랑은 최대대안거리와 유효취송거리를 적용하여 Bretschneider법으로 계산하였다.

원전어항에서 각 풍향별의 풍파(wind wave)를 추산하기 위하여 구산반도의 원전어항과 실리도 사이의 수로에서 동측 끝단의 동방파제 설치지점(N~E 계열)과 서측 끝단의 서방파제 축조지점(S~W 계열)으로 분리하여 취송거리를 각각 나타내었으며, 각 방향별 취송거리는 그림-2.3에 나타낸다. 원안의 S56.25°W와 S75°E는 풍파추산에 포함된 것으로 하여 비교분석만 수행하였다.

수심은 각 대안거리상에서 50m 간격으로 해도로부터 독취하여 평균수심을 구한 후에 원전어항의 조위면으로 보정하였으며, 표-2.7에 풍향별-구간별의 대안거리, 유효취송거리 및 평균수심을 나타낸다.

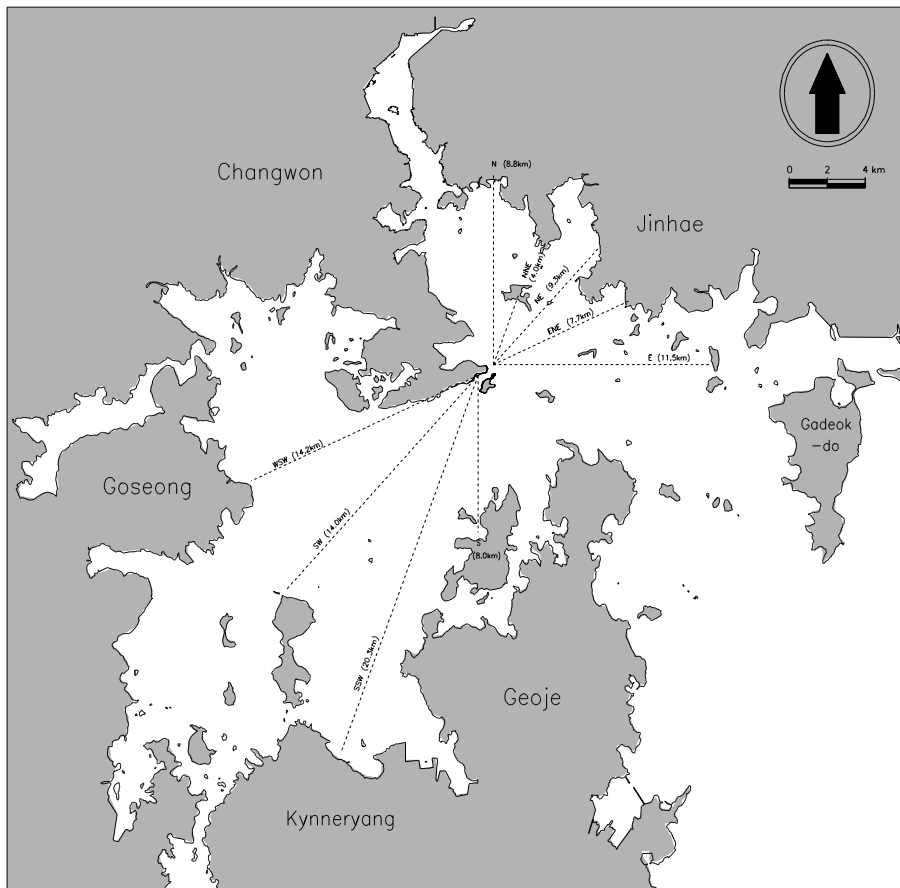


그림-2.3 주풍향별의 대안거리

표-2.6 재현빈도별-풍향별의 풍속

<div> <div>풍향(m/s)</div> <div>재현빈도</div> </div>	N	NNE	NE	ENE	E	S	SSW	SW	WSW
1	10.36	9.28	9.06	5.66	5.95	9.94	13.46	14.22	13.31
2	14.38	13.09	13.57	10.70	10.78	17.47	20.68	20.18	18.80
10	19.62	18.05	19.47	17.28	17.07	27.27	30.08	27.94	25.95
20	21.44	19.78	21.52	19.57	19.26	30.69	33.36	30.64	28.44
30	22.44	20.73	22.64	20.83	20.46	32.56	35.16	32.13	29.81
40	23.13	21.38	23.41	21.69	21.29	33.84	36.39	33.14	30.74
50	23.65	21.87	24.00	22.34	21.91	34.82	37.32	33.91	31.45
100	25.20	23.34	25.75	24.30	23.78	37.73	40.11	36.22	33.58

표-2.7 풍향별-구간별의 대안거리, 유효취송거리 및 평균수심

풍향	대안거리 (km)	유효취송거리 (km)	평균수심 (m)	보정수심 (m)
N	8.8	7.32	11.62	13.70
NNE	4.0	6.37	10.73	12.81
NE	9.3	5.89	11.00	13.08
ENE	7.7	8.09	12.81	14.89
E	11.5	9.09	16.25	18.33
S	8.0	8.81	18.41	20.49
SSW	20.3	13.01	19.38	21.46
SW	14.0	16.94	19.53	21.61
WSW	14.2	16.52	19.21	21.29

2.2.2 설계파랑의 추정결과

본 대상 해역에서의 풍파추정모형(ACES, 1991)은 심해풍파추정모형(Vincent, 1984)에 해저바닥의 마찰효과와 투수성을 고려하여 변형한 것이며, 기본적으로는 Bretschneider 천해파추정법과 동일하다. 본 대상해역은 진해만내 구산반도의 가장자리에 위치하여 태풍 등에 의해 발생하는 심해파랑의 영향은 거의 없고, 진해만내의 계절풍 등에 의한 풍파의 영향을 받고 있으나, 원전어항의 남측에 실리도와 초애섬이 입지하여 S계열의 풍파에는 거의 차단되어 있으며, E-W방향으로 수로를 형성하고 있기 때문에 이 계열의 풍파가 내습하는 경우에 본 대상해역에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 본 대상해역에서 Bretschneider법에 의해 추산된 재현기간별-파향별의 설계파를 표-2.8에 제시하며, 풍파추산은 구조물설계파 및 항내정온도평가를 위한 입사파의 자료를 제공하기 위해 수행되었다. 설계에 적용된 재현빈도별의 풍파를 표-2.9에 제시한다.

본 결과에서 재현빈도 50년 설계파랑은 외곽시설을 포함한 구조물설계파 및 항내정온도의 추산을 위해 사용되었고, 원전어항의 원안설계시에 대안거리법에 의해 추정된 설계파(S56.25°W H=2.20m, T=5.7sec; S75°E H=1.00m T=3.9 sec)도 동시에 고려하여 적용하였다. 재현빈도 10년 설계파랑은 오타방지막설계를 위해, 재현빈도 1년의 파랑은 평상파 내습에 따른 항내정온도평가를 위해 계산하였다.

표-2.8 Bretschneider법에 의한 재현빈도별-파향별의 풍파추산결과

파향 재현빈도		N	NNE	NE	ENE	E	S	SSW	SW	WSW	비고
1	H	0.44	0.37	0.35	0.25	0.28	0.47	0.76	0.91	0.85	파고: H(m)
	T	2.47	2.27	2.20	2.02	2.14	2.59	3.25	3.57	3.46	
2	H	0.61	0.52	0.52	0.48	0.51	0.82	1.16	1.28	1.18	주기: T(sec)
	T	2.77	2.57	2.54	2.58	2.69	3.17	3.77	4.04	3.91	
10	H	0.83	0.71	0.74	0.77	0.81	1.27	1.67	1.75	1.62	
	T	3.08	2.87	2.88	3.05	3.16	3.69	4.29	4.52	4.37	
20	H	0.90	0.78	0.82	0.87	0.91	1.42	1.84	1.92	1.76	
	T	3.18	2.96	2.97	3.18	3.30	3.84	4.44	4.66	4.51	
30	H	0.94	0.82	0.86	0.92	0.97	1.50	1.94	2.00	1.84	
	T	3.22	3.01	3.03	3.25	3.37	3.91	4.52	4.73	4.58	
40	H	0.97	0.84	0.89	0.96	1.01	1.56	2.00	2.06	1.90	
	T	3.26	3.04	3.06	3.29	3.41	3.96	4.57	4.78	4.63	
50	H	0.99	0.86	0.91	0.99	1.03	1.60	2.05	2.11	1.94	
	T	3.29	3.06	3.09	3.33	3.45	4.00	4.61	4.82	4.66	

표-2.9 재현기간별로 추산된 원전어항의 인근해역에서 풍파

구분	파향		파고 H	주기 T	재현기간
이상시	SW계열	S56.25°W(원안)	2.20m	5.7sec	50년
		S22.5°W	2.20m	5.0sec	
	SE계열	S75°E(원안)	1.0m	3.9sec	
		E	1.0m	3.5sec	
시공시	SW계열	SW	1.7m	4.5sec	10년
평상시	SW계열	SW	0.9m	3.6sec	1년

2.3 정온도

2.3.1 파랑변형실험 개요

원전어항은 우리나라 남해안내의 진해만에 위치하고 있으며, 남측에 거제도가 있어 외해에서 발달된 파랑은 대부분 차폐되기 때문에 내만에서 발달가능한 풍파를 추산하고, 계획대상해역에 대해 파랑변형실험을 실시하였다. 구조물설계파의 산정시에 실험대상파랑은 바람에 의해 발달된 50년빈도의 추산파랑을 사용하고, 항내정온도의 실험대상파랑은 50년빈도의 설계파와 1년빈도의 평상파로 구분하여 실시하였다. 실험에 채택된 파랑은 표-2.8과 같고, 실험시의 기준해면은 삭망평균만조위(2.331m)로 수심보정하였으며, 표-2.10에 원전어항에 있어서 파랑변형실험의 개요를 제시한다. 원전어항이 건설되는 구산마을과 실리도 사이에 수심 10m 내외의 수로형태인 지형이 형성되어 있고, 원전어항의 주변해역은 진해만의 남단이며, 거제도로 인해 외해를 향해 거의 차폐되어 있는 내만의 지형특성을 갖는다. 실험영역에서 수심을 추출하기 위해 해도 204번(축척 1:25,000)과 과거의 수심측량결과를 이용하였다. 실험대상파랑은 50년빈도의 설계파랑과 1년빈도의 평상파랑으로 구분하며, 구조물설계파랑 산정은 50년빈도의 풍파추산파랑(S56.25°W, S22.5°W, S75°E, E)을 대상으로 파랑실험을 실시한다. 항내정온도실험은 50년빈도의 4개의 추산파랑과 1년빈도의 평상파랑(SW)을 대상으로 실시하고, 모든 파랑변형실험은 일방향불규칙실험을 원칙으로 한다. 실험안은 원안과 단면계산 및 반사면의 재배치에 따른 대안-1, 대안-2 및 평면배치의 변경이 가능한 경우와 제시안-1과 제시안-2이며, 여기서는 채택안인 대안-1의 경우에 적용한 반사율을 그림-2.4에 제시한다.

표 2.10 원전어항에서 파랑변형실험의 개요

실험영역	원전어항의 인근해역		
모형범위	1.512 km ² (0.9km×1.68km)	2.1672 km ² (1.29km×1.68km)	1.17 km ² (0.9km×1.3km)
격자간격	3m 등간격	3m 등간격	2m 등간격
격자수	179,200개 (320개×560개)	240,800개 (430개×560개)	292,500개 (450개×650개)
입사파 조건	<ul style="list-style-type: none"> 설계파 : S56.25°W 파향 : S56.25W 파고 : 2.2m 주기 : 5.7초 	<ul style="list-style-type: none"> 설계파 : S22.5°W 파향 : S22.5W 파고 : 2.2m 주기 : 5.0초 평상파 : SW 파향 : SW 파고 : 0.9m 주기 : 3.6초 	<ul style="list-style-type: none"> 설계파 : E 파향: E 파고 : 1.0m 주기 : 3.5초 설계파 : S75°E 파향 : S75E 파고 : 1.0m 주기 : 3.9초
기준해면	삭망평균만조위(2.331m)		
실험안	<ul style="list-style-type: none"> 현재상태 원안 대안-1(채택안) 대안-2 제시안-1 제시안-2 		

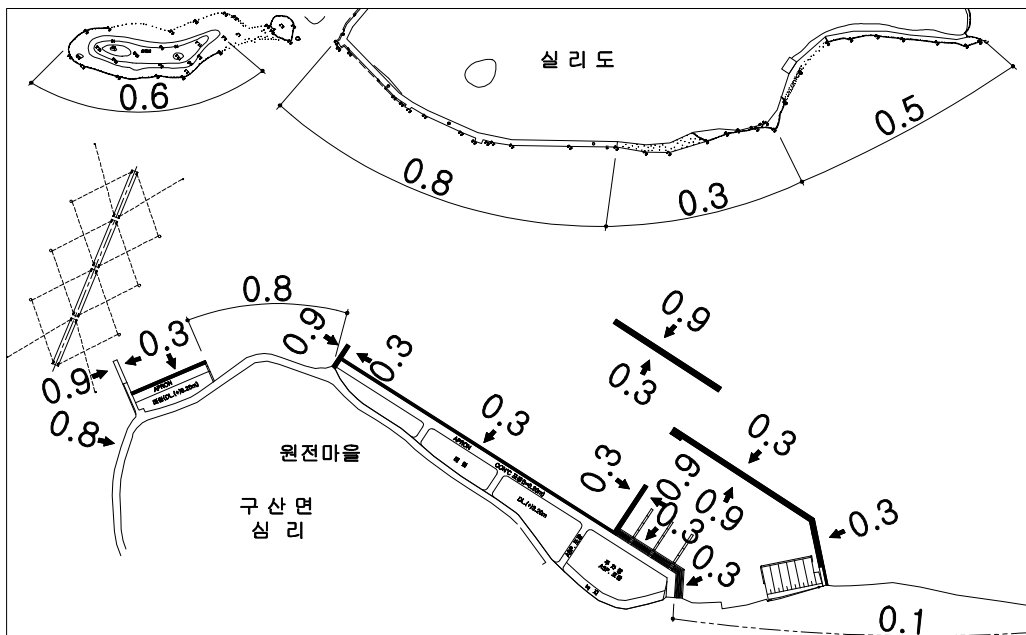


그림-2.4 대안-1(채택안)에서 구조물별의 반사율

2.3.2 구조물설계파랑의 산정실험

(1) 서방파제

서방파제에서 설계파의 산정을 위해 50년빈도 파랑인 S56.25°W, S22.5°W, E, S75°E의 파랑을 대상으로 현재상태에서 파랑실험을 실시하며, 서방파제의 설계파는 기존 구조물에 의한 반사파가 고려되지 않은 진행파의 개념에서 추출하였다. 실험결과에서 얻어진 서방파제(도제)의 설계파를 표-2.11에 제시하며, 채택된 서방파제의 구조물설계파는 2.2m이다.

표-2.11 서방파제(도제)에서 설계파의 추출결과

구 분	파 고(m)	비 고
S56.25°W	1.6 ~ 1.8	현재상태
S22.5°W	2.2	
E	0.1	
S75°E	0.1	

(2) 동방파제(부방파제)

부방파제인 동방파제에서 설계파의 산정을 위해 50년빈도 파랑인 S56.25°W, S22.5°W, E, S75°E의 파랑을 대상으로 파랑실험을 실시하였으며, E와 S75°E의 파랑은 기존 구조물에 의한 반사파가 고려되지 않은 진행파의 개념에서 설계파를 추출하였다. S56.25°W와 S22.5°W의 파랑은 원전어항의 서방파제를 통과하여 동방파제에 전달되므로 서방파제에 의한 반사파의 영향을 고려하여 동방파제의 설계파를 추출하였으며, E와 S75°E의 파랑실험은 현재상태에서 실험이 수행되었고, S56.25°W와 S22.5°W의 파랑실험은 서방파제에 의한 영향을 고려하기 위해 각 실험안별(원안, 대안-1, 대안-2, 제시안-1, 제시안-2)로 구분하여 실시하였다. 실험결과에서 얻어진 동방파제(부방파제)의 설계파는 표-2.12와 같고, 채택된 동방파제의 구조물설계파는 1.0m이다.

표-2.12 동방파제(부방파제) 설계파 추출결과

구 분	파 고(m)	비 고
S56.25°W	0.3 ~ 1.0	원 안
	0.3 ~ 1.0	대안-1
	0.3 ~ 1.0	대안-2
	0.1 ~ 0.3	제시안-1
	0.1 ~ 0.3	제시안-2
S22.5°W	0.3 ~ 0.6	원 안
	0.3 ~ 0.6	대안-1
	0.3 ~ 0.6	대안-2
	0.3 ~ 0.5	제시안-1
	0.3 ~ 0.5	제시안-2
E	1.0	현재상태
S75°E	1.0	현재상태

2.3.3 항내정온도실험

항내정온도실험의 실험대상 파랑은 50년빈도 심해설계파인 S56.25°W, S22.5°W, E, S75°E와 1년빈도의 평상파랑인 SW파랑이며, 부방파제에 파랑이 전파될 때 반사와 투과가 동시에 발생하며, 본 실험에서는 이를 모두 고려하여 부방파제 전면의 반사파와 부

방파제 배후의 투과파에 의한 파랑동요를 함께 재현하였다. 실험안은 원안, 대안-1, 대안-2, 제시안-1, 제시안-2이고, 그림-2.5와 같이 구역을 구분하여 구역별의 평균파고를 추출 하였으며, 각 실험안별의 등파고선도에서 채택안인 대안-1의 경우를 그림-2.6~2.12에 제시한다.

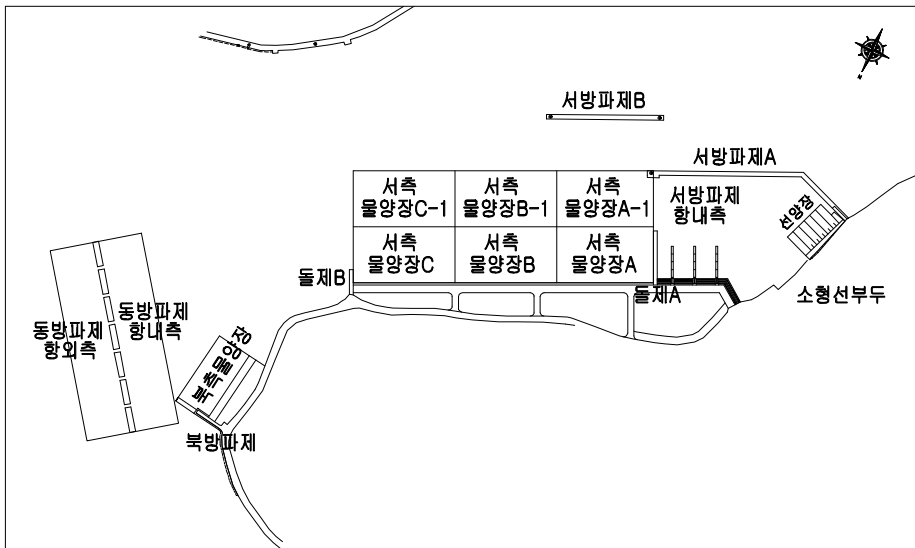


그림-2.5 구역분할도

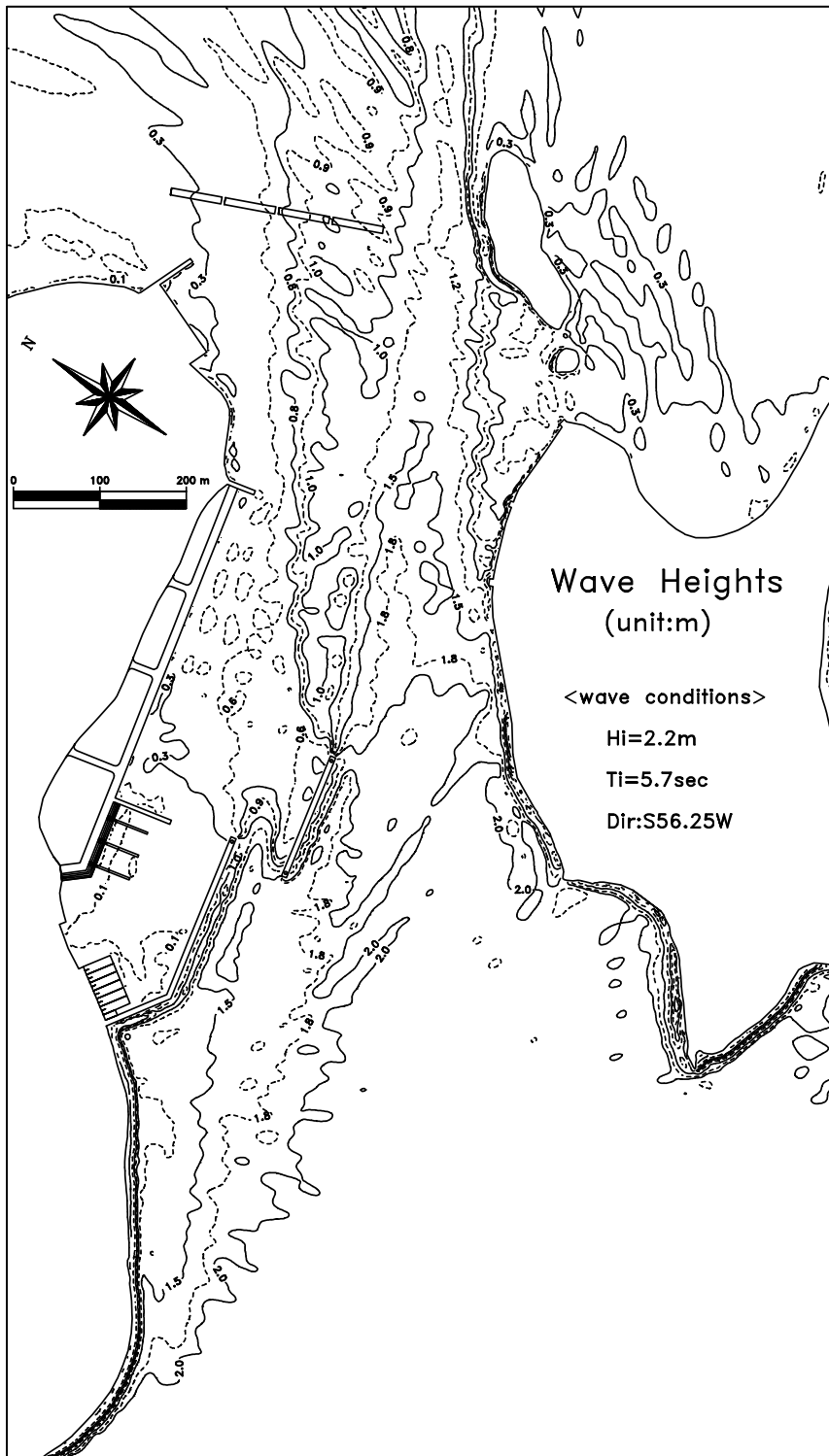


그림-2.6 동방파제에서 설계파의 산정실험(S56.25°W, 대안-1)

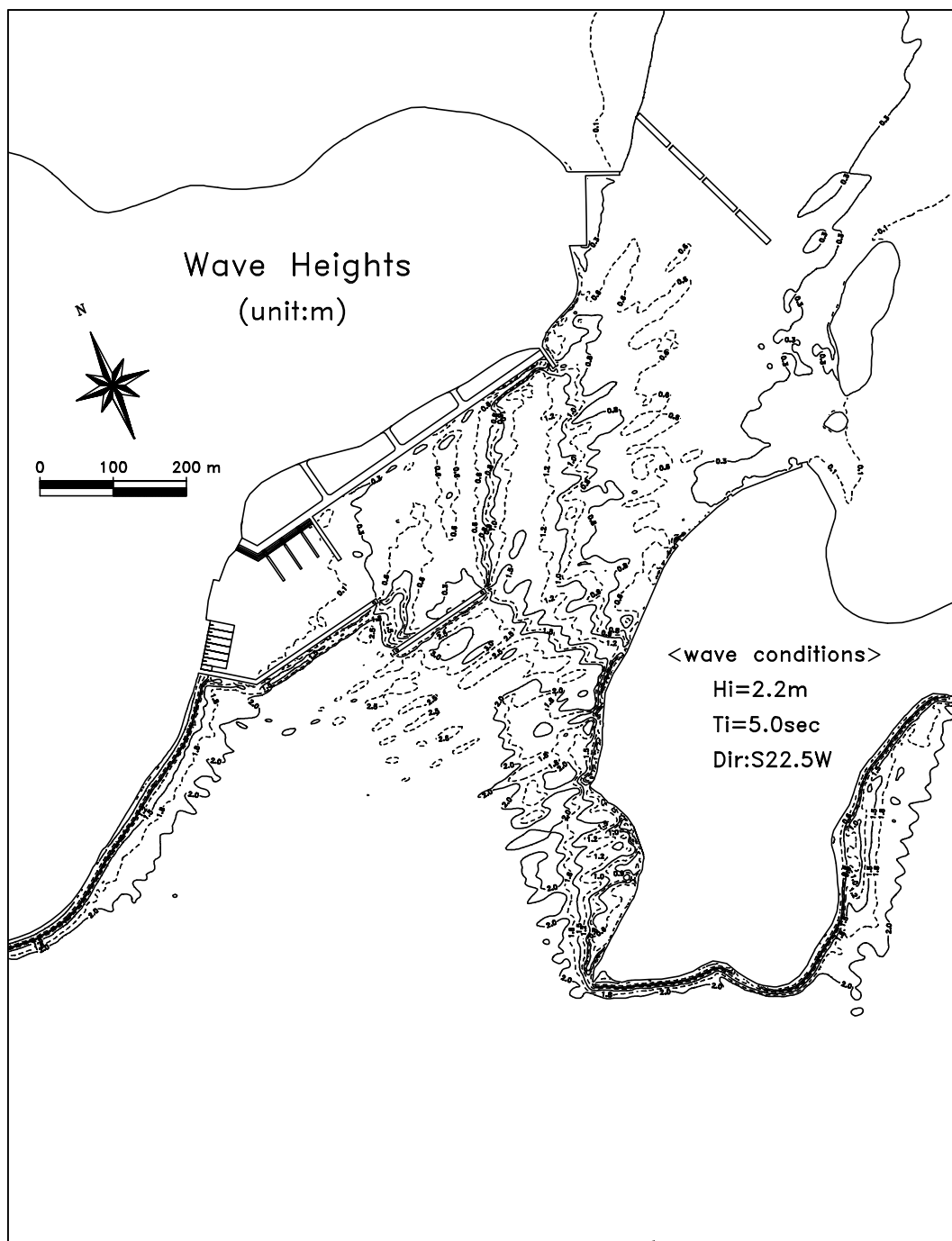


그림-2.7 동방파제에서 설계파의 산정실험(S22.5°W, 대안-1)

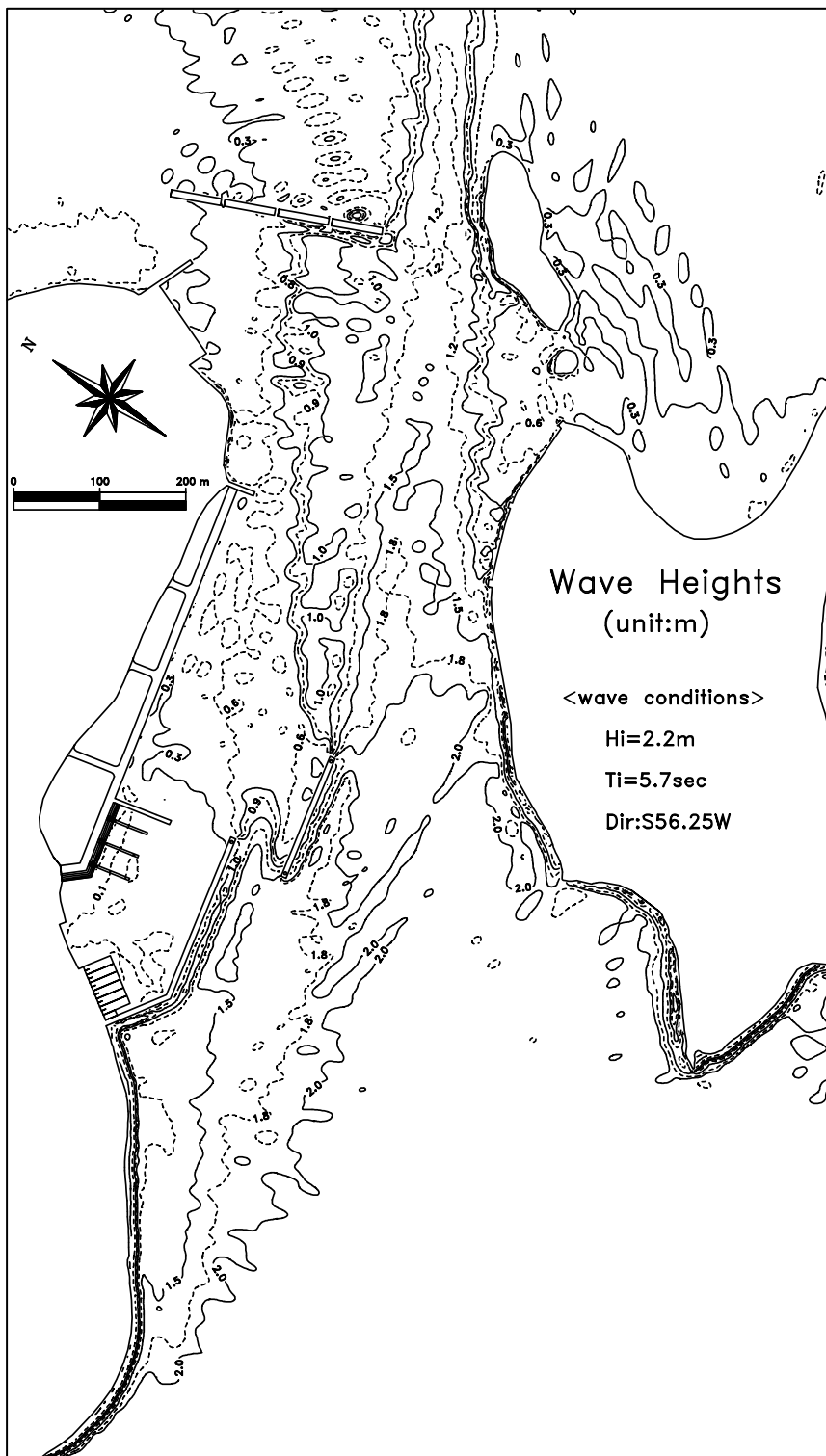


그림-2.8 대안-1에서 항내정온도의 실험결과(S56.25°W)

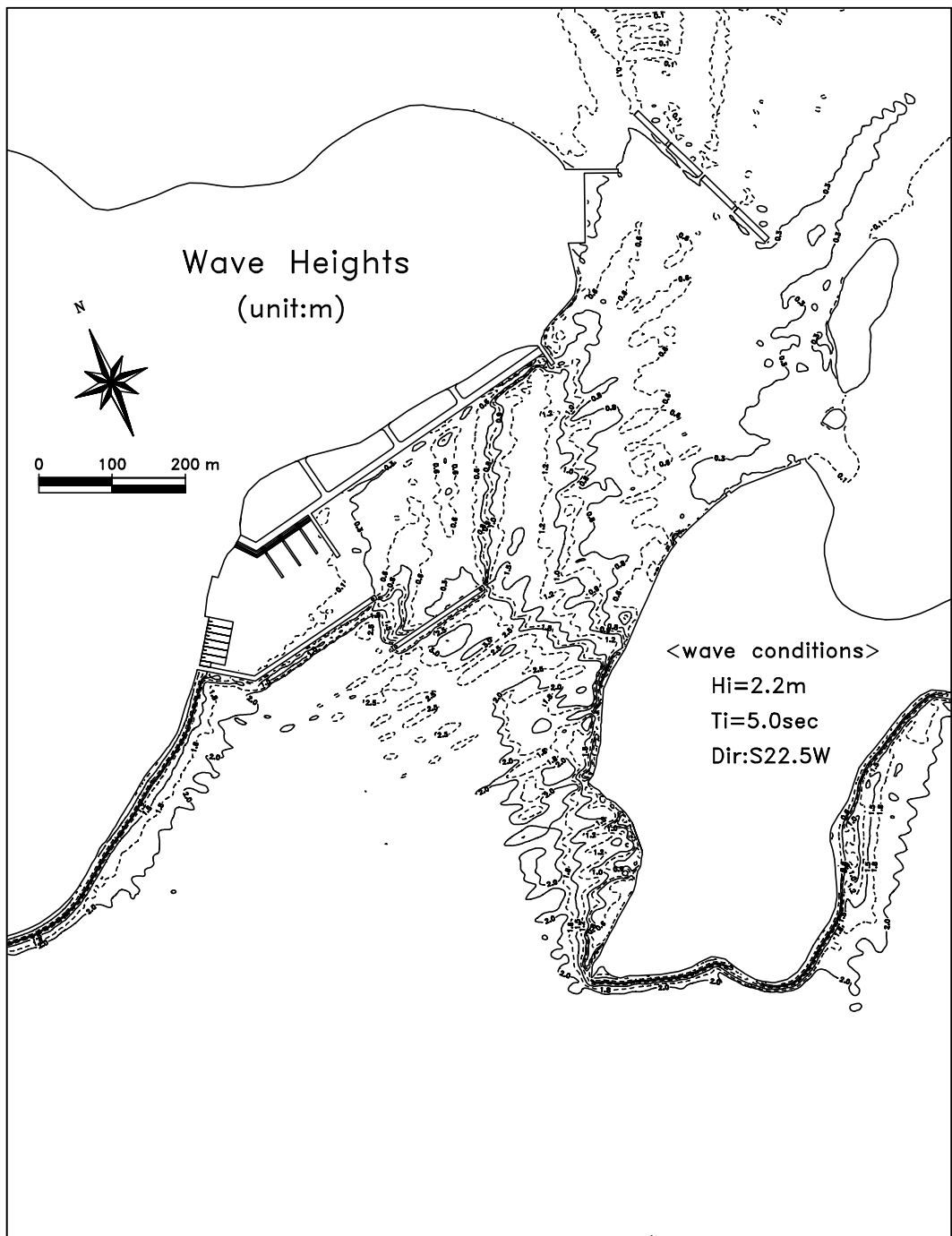


그림-2.9 대안-1에서 항내정온도의 실험결과(S22.5°W)

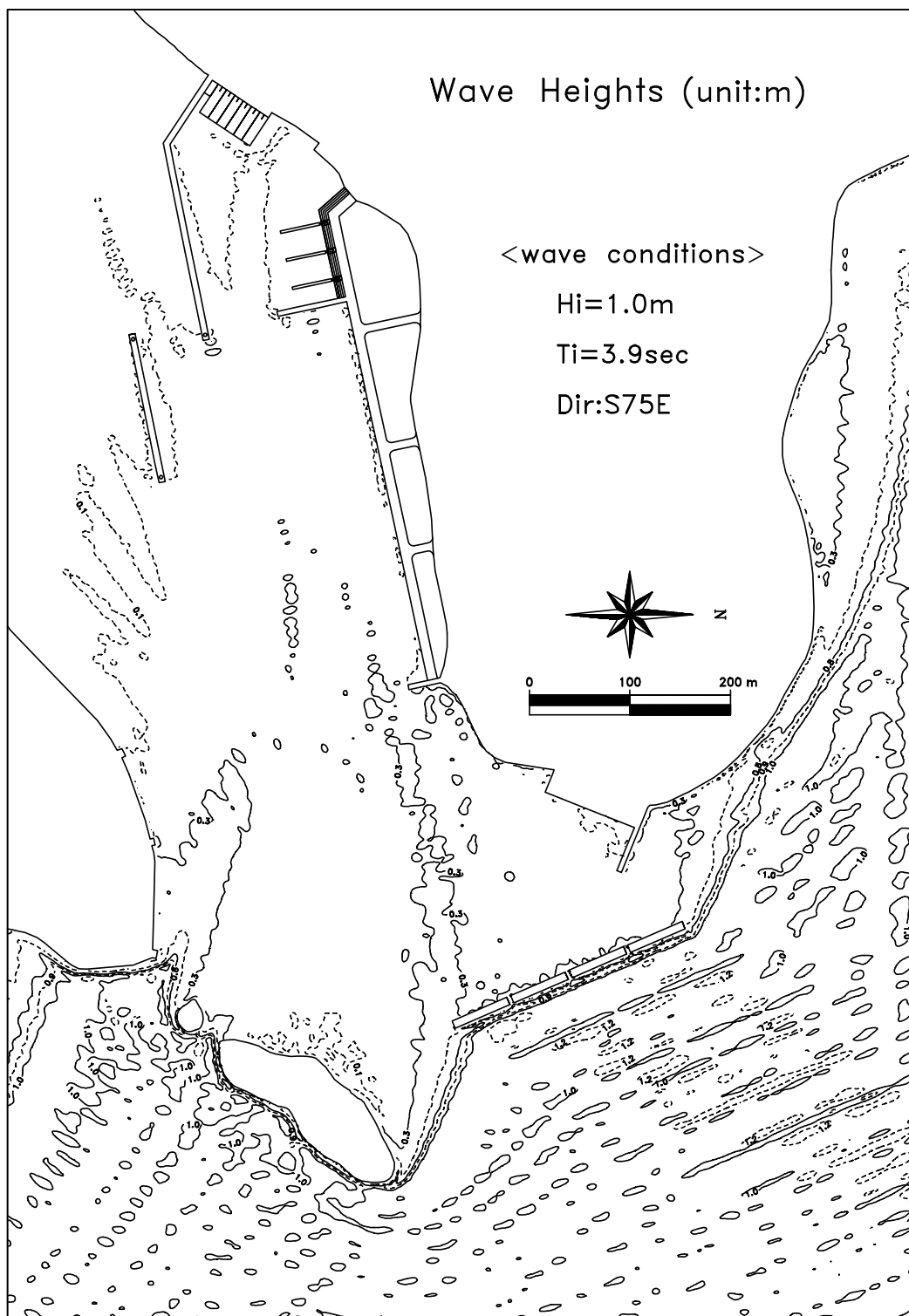


그림-2.11 대안-1에서 항내정온도의 실험결과(S75°W)

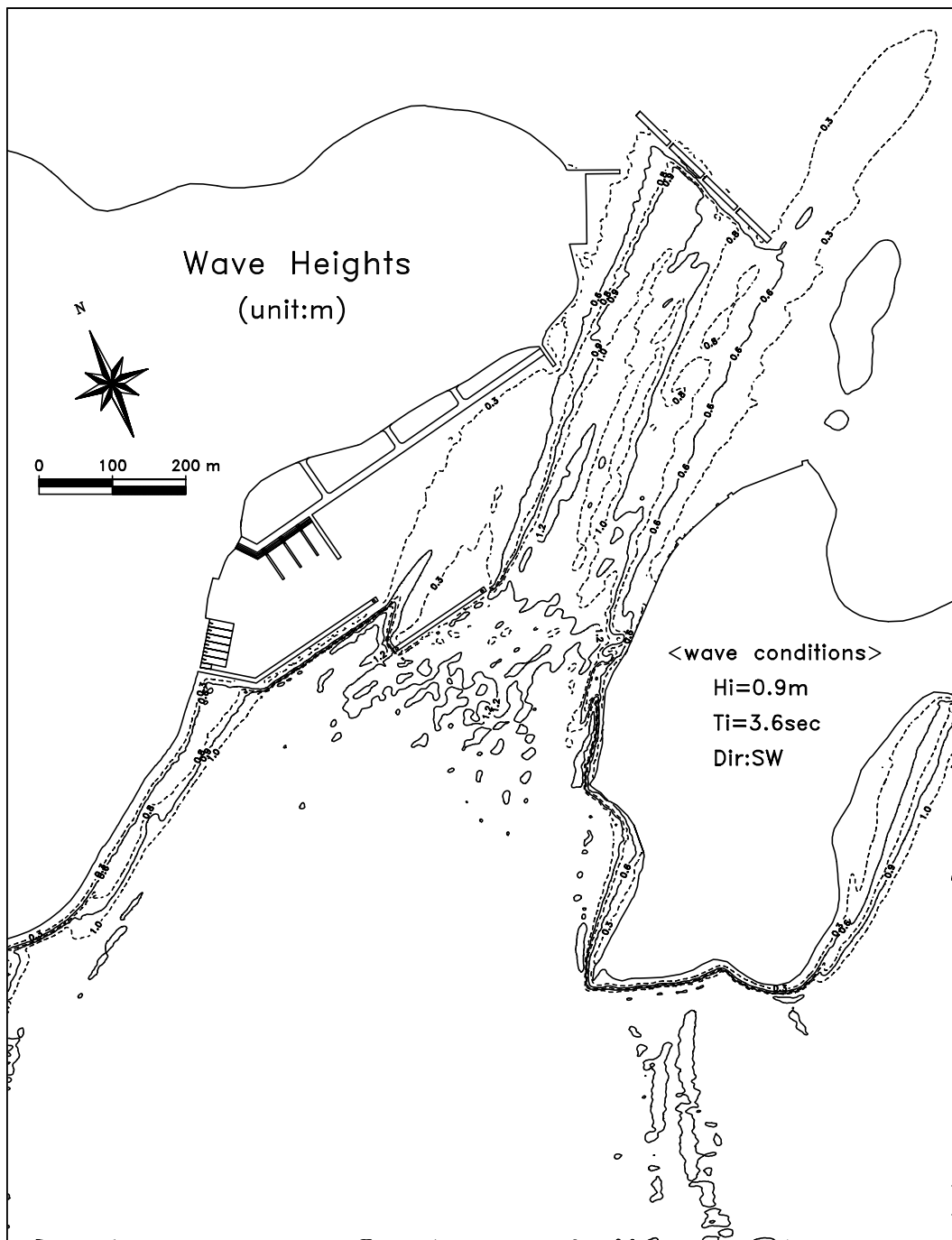


그림-2.12 대안-1에서 항내정온도의 실험결과(SW)

그림-2.13을 살펴보면 대안-1은 원안에서 방파제와 물양장의 단면형식을 바뀐 항내정온을 향상시키려는 배치안이며, 본 실험에서는 그림-2.4의 단면형식에 맞는 반사율을 적용하여 파랑실험을 실시하였다. 서방파제(도제)에서 단면형식의 변경에 따른 정온결과는 대안-2의 실험결과보다 각 파향별로 모두 정온이 유사하거나 향상되었으며, 원안의 결과와 비교해도 유사하거나 향상되었다. 서측에서 물양장의 전면해역(A, B, C구역)은 S22.5°W 파랑의 내습시에 C구역(1.04m)만을 제외하고 0.6m 이하의 파고분포를 나타내며, S22.5°W 파랑의 전파시에 C구역과 C-1구역은 서방파제의 두부를 통해 직접 내습하는 해역으로, 원안, 대안-1(채택안), 대안-2 모두 1.0m 이상의 파고가 전파된다.

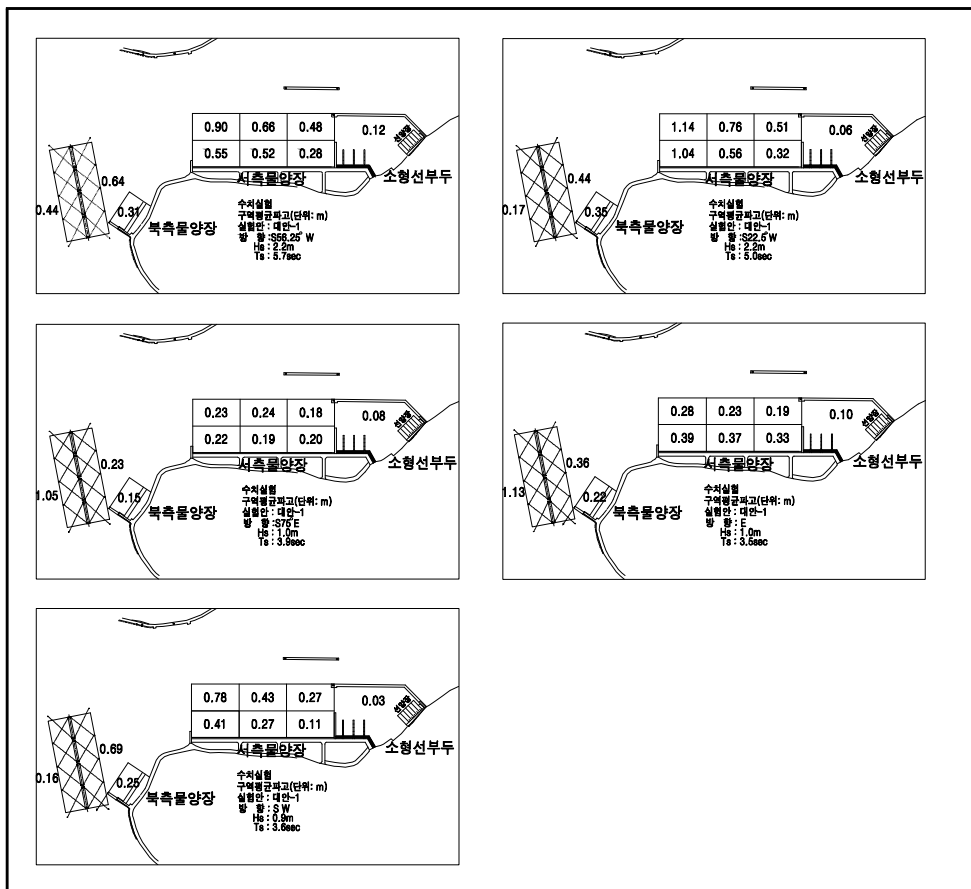


그림-2.13 구역별의 파고분포도(대안-1)

2.3.4 정온도의 해석결과

(1) 구조물설계파랑

원전어항은 거제도가 남측해역에 위치하여 외해에서 발달한 파랑이 차폐되는 해역이기 때문에 바람에 의해 발달가능한 천해설계파를 추산하였으며, 구조물의 설계파랑산정 실험은 서방파제와 동방파제(부방파제)로 구분하여 산정하였다. 동방파제에서 설계파의 산정실험시 S56.25°W와 S22.5°W의 파랑은 원전어항의 서방파제를 통과하여 동방파제에 전달되므로 서방파제에 의한 반사파를 고려하였고, 원안, 대안-1, 대안-2, 제시안-1, 제시안-2에 대하여 각각 구분하여 실험하였으며, 구조물의 설계파산정결과는 표-2.9와 같다.

표-2.13 구조물의 설계파산정결과

구 분	파 랑	파 고(m)	비 고	채택파고
서방파제	S56.25°W	1.6 ~ 1.8	현재상태	2.2
	S22.5°W	2.2		
	E	0.1		
	S75°E	0.1		
동방파제 (부방파제)	S56.25°W	0.3 ~ 1.0	원 안	1.0
		0.3 ~ 1.0	대안-1	
		0.3 ~ 1.0	대안-2	
		0.1 ~ 0.3	제시안-1	
		0.1 ~ 0.3	제시안-2	
	S22.5°W	0.3 ~ 0.6	원 안	
		0.3 ~ 0.6	대안-1	
		0.3 ~ 0.6	대안-2	
		0.3 ~ 0.5	제시안-1	
		0.3 ~ 0.5	제시안-2	
	E	1.0	현재상태	
	S75°E	1.0	현재상태	

(2) 항내정온도

항내정온도실험의 대상파랑은 50년빈도의 심해설계파인 S56.25°W, S22.5°W, E, S75°E의 파랑과 1년빈도의 평상파랑인 SW의 파랑이며, 실험안은 원안, 대안-1, 대안-2, 제시안-1, 제시안-2이고, 구역별의 평균파고는 표-2.10과 같다.

표-2.14 항내정온도 결과

파향	실험안	서방파제의 항내측	서측물양장의 전면						북측 물양장의 전면	동방파제	
			A	B	C	A-1	B-1	C-1		항 내측	항 외측
S56.25W	원 안	0.11	0.36	0.60	0.65	0.58	0.72	0.88	0.32	0.62	0.49
	대안-1	0.12	0.28	0.52	0.55	0.48	0.66	0.90	0.31	0.64	0.44
	대안-2	0.13	0.29	0.55	0.61	0.52	0.76	0.90	0.28	0.62	0.43
	제시안-1	0.08	0.13	0.22	0.26	0.15	0.28	0.36	0.11	0.23	0.16
	제시안-2	0.07	0.12	0.20	0.26	0.14	0.25	0.33	0.12	0.21	0.15
S22.5W	원 안	0.07	0.51	0.75	1.10	0.77	0.83	1.16	0.35	0.43	0.22
	대안-1	0.06	0.32	0.56	1.04	0.51	0.76	1.14	0.35	0.44	0.17
	대안-2	0.07	0.42	0.68	1.10	0.68	0.86	1.18	0.35	0.45	0.17
	제시안-1	0.06	0.13	0.20	0.44	0.14	0.30	0.62	0.26	0.41	0.16
	제시안-2	0.05	0.10	0.17	0.40	0.11	0.25	0.56	0.25	0.37	0.14
SW	원 안	0.04	0.18	0.39	0.49	0.41	0.49	0.81	0.44	0.78	0.31
	대안-1	0.03	0.11	0.27	0.41	0.27	0.43	0.78	0.25	0.69	0.16
	대안-2	0.04	0.14	0.34	0.48	0.33	0.53	0.78	0.29	0.69	0.17
	제시안-1	0.08	0.11	0.13	0.17	0.18	0.18	0.27	0.11	0.34	0.16
	제시안-2	0.06	0.10	0.12	0.16	0.15	0.15	0.24	0.10	0.33	0.16
S75E	원 안	0.08	0.20	0.19	0.22	0.19	0.25	0.27	0.24	0.40	1.16
	대안-1	0.08	0.20	0.19	0.22	0.18	0.24	0.23	0.15	0.23	1.05
	대안-2	0.08	0.20	0.19	0.22	0.18	0.23	0.23	0.14	0.22	1.03
	제시안-1	0.12	0.20	0.19	0.22	0.17	0.22	0.22	0.14	0.22	1.04
	제시안-2	0.12	0.20	0.19	0.22	0.17	0.22	0.22	0.14	0.22	1.04
E	원 안	0.10	0.34	0.38	0.42	0.20	0.24	0.31	0.35	0.52	1.26
	대안-1	0.10	0.33	0.37	0.39	0.19	0.23	0.28	0.22	0.36	1.13
	대안-2	0.11	0.33	0.37	0.39	0.19	0.23	0.28	0.22	0.36	1.13
	제시안-1	0.14	0.34	0.37	0.39	0.20	0.24	0.29	0.22	0.36	1.13
	제시안-2	0.14	0.34	0.37	0.39	0.20	0.24	0.29	0.22	0.36	1.13

원안과 대안-2는 각 파향별로 다소 차이는 있으나, 전체적으로 유사하거나 대안-2가

약간 낮은 파고분포를 보이며, 대안-1은 원안과 대안-2에 비해 거의 모든 구역에서 항내 정온이 향상되는 것으로 나타난다. 원안과 대안-1, 대안-2만을 비교해 보면 서방파제(도제)에서 항내측의 단면을 소파시키는 대안-1이 항내의 교란과 감소에 월등한 효과를 보여 항내정온에서 가장 우수한 배치안으로 판단되며, 제시안-1과 제시안-2는 대안-2과 대안-1에서 서방파제의 위치를 변경한 것으로, 실험결과에 의하면 항내파고가 크게 감소되는 것으로 나타난다. 제시안-2는 제시안-1과 비교하여 서방파제의 단면변화에 의해 항내 파고가 약간 감소되는 것으로 나타난다.

2.3.5 태풍 *Maemi*의 내습시에 정온도의 해석결과

2003년 9월 내습한 태풍 *Maemi*가 대상해역의 인근지역에 심각한 피해를 입힘으로써 정온도의 확보 및 부방파제의 안정성을 재검토하였다(포스코건설, 2006).

그림-2.14는 파랑수치모형실험의 결과분석지점을 나타낸다. 여기서, SE계열파향의 입력조건에 대한 실험결과는 S80°E와 S65°E의 파향이 항내로 내습시의 경우에 가장 큰 파랑에너지가 전달되었다. SW계열의 경우는 S35°W, S40°W의 파향성분에 대하여 항내부에서 구조물의 전면(방파제 배후면, 안벽전면)에 큰 파랑에너지가 전파되는 것으로 판단되며, 항내의 경우는 단면D-D'에서 파고는 최고 0.6m, 단면C-C'에서 0.3m 정도로 나타났으며, 안벽전면(B-B')에서는 1.43m의 파고가 발생하였다.

항내에서 파랑장의 예측결과를 기존설계의 항내파고값과 비교한 결과는 표-2.11과 같으며, 안벽전면의 파고는 주로 W계열 파랑에 의한 영향을 크게 받으며, 태풍 *Maemi*의 내습시에 약 1.43m정도의 파고가 전파될 가능성이 있고, 안벽(물양장)의 기존설계시에 적용된 천단고는 DL(+3.150m)이다. 이상의 태풍 *Maemi*의 조건들을 고려하면 W계열에서 파고의 추정치는 4.868m(약최고고조위(2.168m)+해일고(1.27m)+파고 추정치(W계열:1.43m)), E계열에서 파고의 추정치는 4.038m(약최고고조위(2.168m)+해일고(1.27m)+파고 추정치(E계열:0.6m))이므로 기존의 천단고에 비해 0.888m~1.718m 높은 것으로 판단된다. 발생확율은 작지만 태풍 *Maemi*와 같이 극단적인 태풍과 해일이 내습하는 경우에는 해수가 물양장의 배후지로 침입할 가능성이 크므로, 반사율을 저감하는 단면구조나 안벽배후지에 해수배수시설의 확보대책 등이 이루어질 필요가 있다고 판단된다.

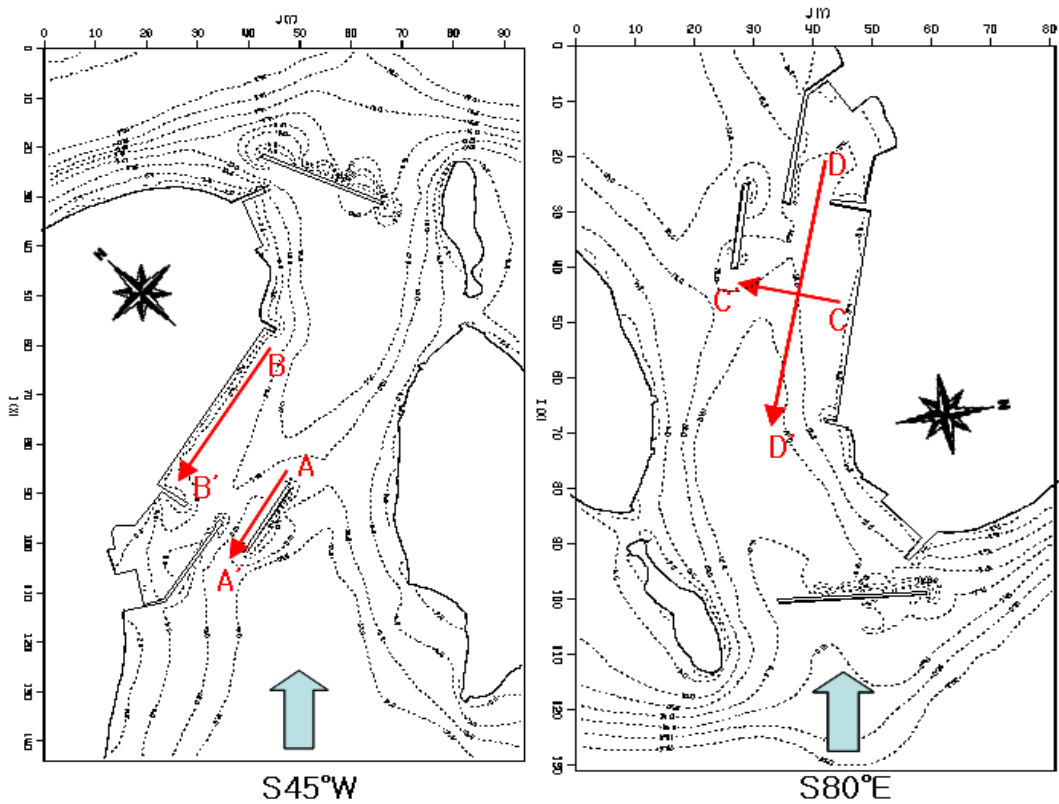


그림-2.14 파랑수치모형실험의 결과분석지점

표-2.15 항내파고분포의 비교

입사파향	위치	당초설계		추정치(극치값)		비고
		파향	파고(M)	파향	파고(M)	
E계열	D-D'	E	0.18 - 0.23 - 0.23	S80°E	0.6	
	C-C'	S75°E	0.19 - 0.23 - 0.28		0.3	
W계열	B-B'	S56.25°W	0.29 - 0.55 - 0.61	S35°W	1.43	
		S22.5°W	0.42 - 0.68 - 1.10			

3. 원전어항 부방파제의 설계조건에 대한 재해석

3.1 폭풍해일고

3.1.1 태풍경로 및 조건

그림-3.1, 3.2는 본 연구에서 대상으로 하는 태풍 Sarah(5914)와 Maemi(0314)의 진행경로를 나타내며, 그림으로부터 2개의 태풍은 남부연안을 통과하는 대표적인 정상진행경로라는 것을 알 수 있다. 태풍 Sarah(5914)는 한반도로 직접 상륙하지 않고 부산 앞바다를 통과하였으나, 태풍이 남해안에 상륙할 당시의 기압심도(대기압(1013hPa)과 태풍중심기압과의 기압차)가 68hPa로써 태풍 Maemi(기압심도 63hPa)가 남해안에 상륙할 당시보다 높은 수치를 나타내고 있다. 과거최대태풍으로 인식되고 있는 태풍 Maemi는 경남 사천 부근의 해안으로 상륙하여 북북동진하여 경남 함안을 거쳐 경북 울진해안을 통해 동해상으로 빠져나갔다. 폭풍해일고의 산정을 위한 계산의 입력값으로서는 표-3.1, 3.2에 각각 나타내고 있는 시각에 따른 태풍의 위치(경도, 위도), 기압심도, 태풍반경 및 이동속도를 이용하였다.

3.1.2 대상영역

폭풍해일의 시뮬레이션에서 대상영역은 그림-3.3에 나타내는 것과 같이 태풍의 주경로가 놓이는 한국 및 일본과 태평양을 포함하는 광역으로 설정되었다. 대상으로 하는 관심영역에서 계산정도를 높이기 위하여 계산영역을 제1영역에서 제7영역까지 nesting하여 계산을 수행하였다. 계산격자의 구성은 제1영역에서 32.805km의 격자크기로 시작하여 순차적으로 10.935km, 3.645km, 1.215km, 405m, 135m의 격자간격을 이용하였으며, 관심영역인 제7영역은 원전어항의 연안역으로 설정하고, 최소격자간격 45m로 설정하였

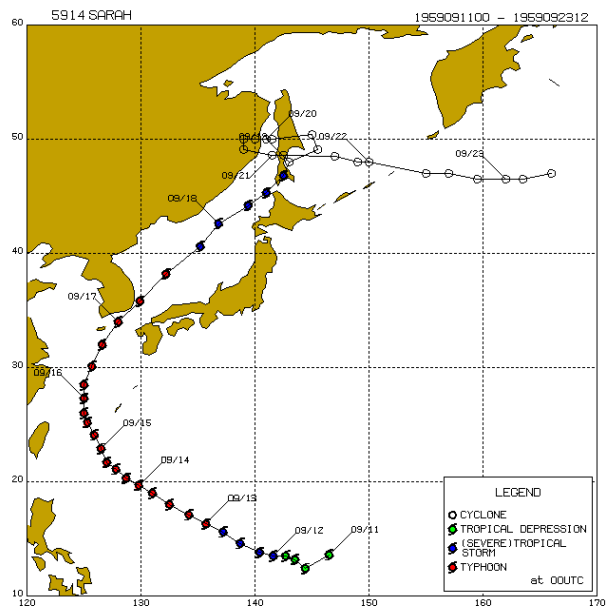


그림-3.1 태풍 Sarah의 경로

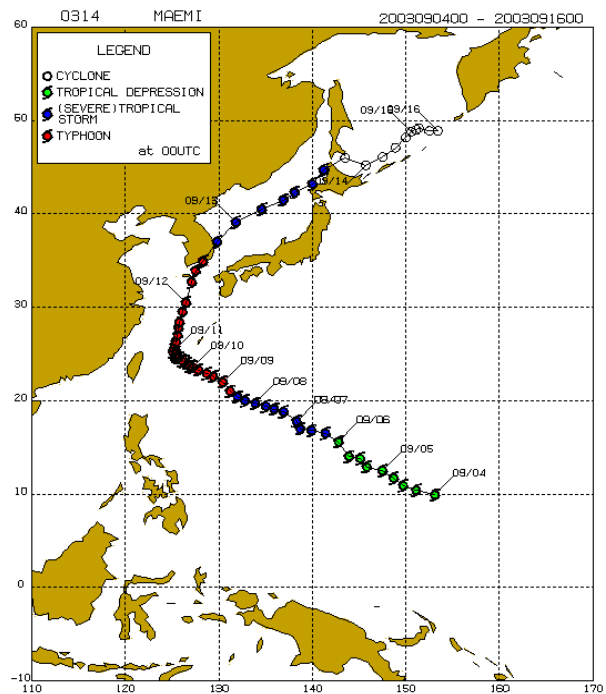


그림-3.2 태풍 Maemi의 경로

다. 현재 건설이 진행중인 원전어항 부방파제의 영향은 고려하지 않고 계산을 수행하였다. 표-3.3에는 격자에 대한 상세한 정보가 제시되어 있으며, Imesh와 Jmesh는 I, J방향으로 격자의 갯수를 나타낸다. 그림-3.4는 그림-3.3에 나타난 각 영역에서 보다 상세한 영역범위와 등수심선을 나타내고 있다.

표-3.1 태풍 Sarah의 특성

시 각	경도 (°E)	위도 (°N)	기압심도 (hPa)	태풍반경 (km)	이동속도 (km/h)
5909151800	125.000	26.000	108.0	35.0	24.0
5909160000	125.000	27.300	108.0	33.0	22.2
5909160600	125.000	28.500	78.0	51.0	32.3
5909161200	125.700	30.100	78.0	52.0	37.4
5909161800	126.600	32.000	78.0	55.0	42.9
5909170000	128.000	34.000	68.0	71.0	44.1
5909170600	129.900	35.800	63.0	96.0	56.0
5909171200	132.200	38.200	48.0	134.0	62.0
5909171800	135.200	40.600	43.0	170.0	43.3

표-3.2 태풍 Maemi의 특성

시 각	경도(°E)	위도(°N)	기압심도(hPa)	태풍반경(km)	이동속도(km/h)
0309111500	125.300	25.900	0.0	38.0	10.0
0309111800	125.400	26.300	46.5	38.0	15.0
0309112100	125.600	27.000	83.0	38.0	20.0
0309120300	125.800	28.400	73.0	40.0	25.0
0309120600	126.100	29.500	68.0	40.0	30.0
0309120900	126.500	30.500	68.0	38.0	35.0
0309121200	126.900	31.700	68.0	38.0	35.0
0309121500	127.000	32.700	68.0	50.0	40.0
0309121700	127.300	33.500	68.0	55.0	40.0
0309122100	128.300	34.800	63.0	50.0	45.0
0309130300	129.700	36.900	43.0	90.0	45.0
0309131500	134.800	40.500	33.0	110.0	45.0

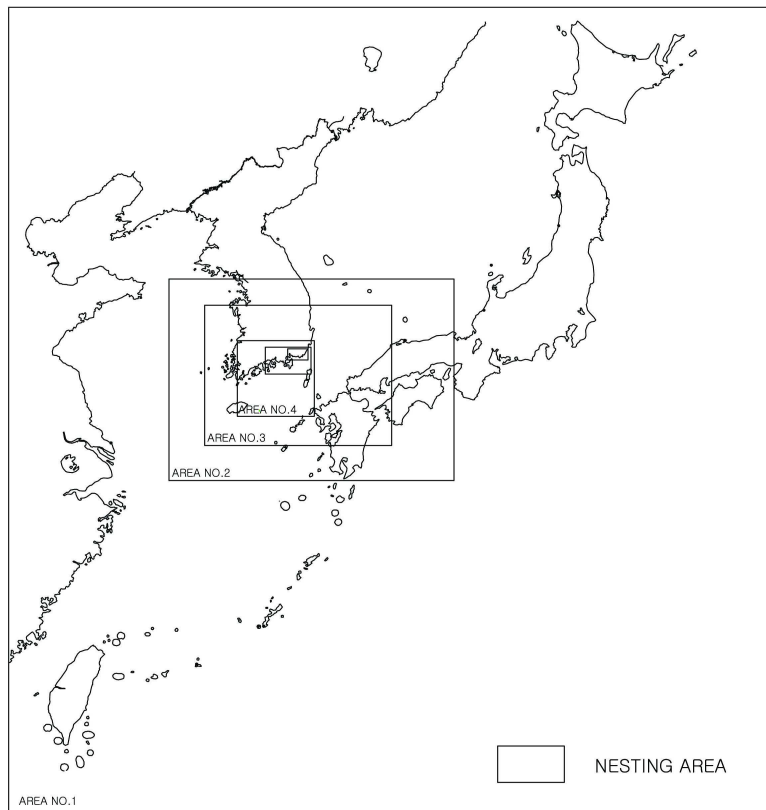
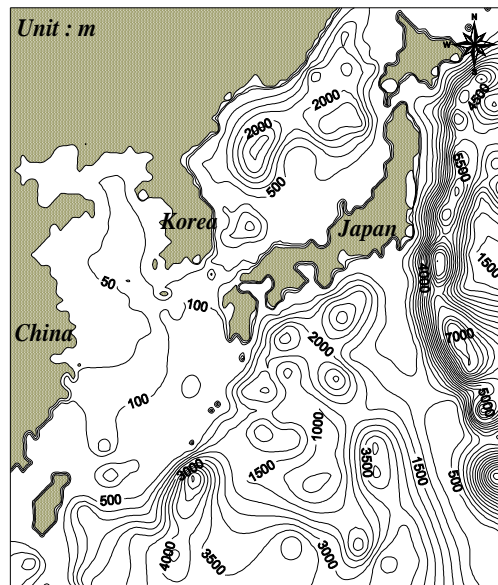


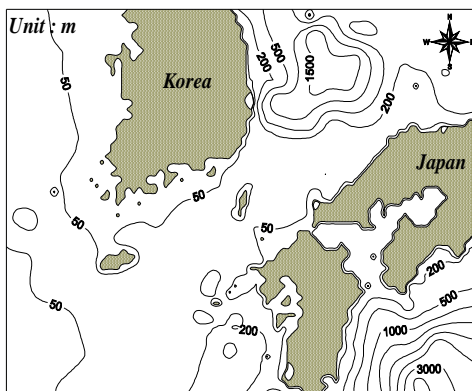
그림-3.3 폭풍해일의 계산영역

표-3.3 각 영역에서 격자의 크기

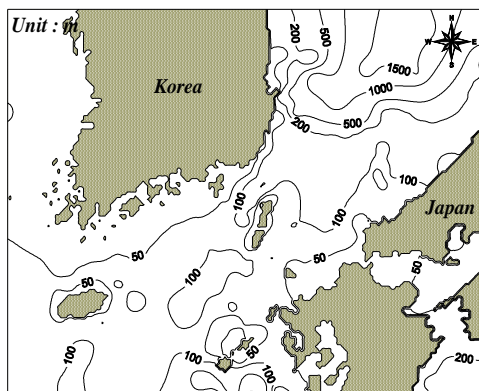
영역 번호	<i>Mesh size(m)</i>	<i>Imesh × Jmesh</i>
AREA NO.1	32,805	80×90
AREA NO.2	10,935	96×72
AREA NO.3	3,645	192×150
AREA NO.4	1,215	276×234
AREA NO.5	405	414×252
AREA NO.6	135	174×174
AREA NO.7	45	177×177



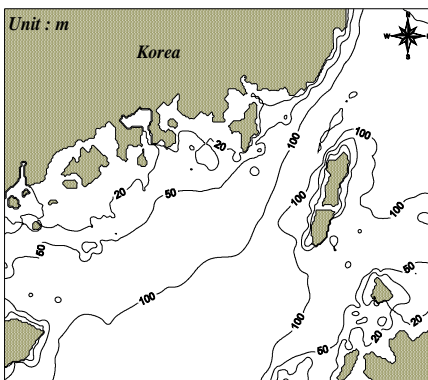
(a) AREA NO.1



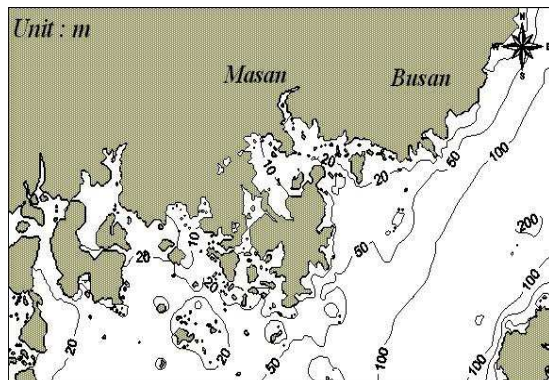
(b) AREA NO.2



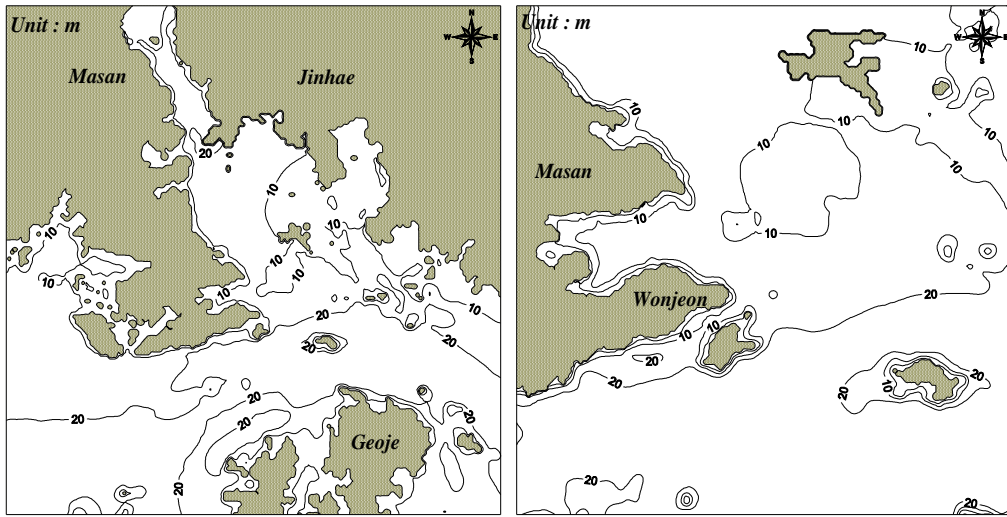
(c) AREA NO.3



(d) AREA NO.4



(e) AREA NO.5



(f) AREA NO.6

(g) AREA NO.7

그림-3.4 각 영역에서 수심의 공간분포

3.1.3 수치계산의 검증

(1) 기압

폭풍해일고의 시뮬레이션을 실시함에 있어서 우선 태풍 Maemi에 대한 수치계산을 수행하여 본 수치시뮬레이션의 타당성을 검토하였다. 폭풍해일의 추산에 이용된 기압분포에는 Myers and Malkin(1961)의 분포식(3.1)을 사용하였고, 최대풍속반경 r_0 는 남해안의 관측기압으로부터 산정되었다.

$$p_r = p_c + \Delta p \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right) \quad (3.1)$$

여기서, p_c 는 태풍의 중심기압, Δp 는 기압심도, p_r 은 태풍의 중심으로부터 r 만큼 떨어진 점에서의 기압, r_0 는 태풍반경, r 은 등압선의 곡률반경이다.

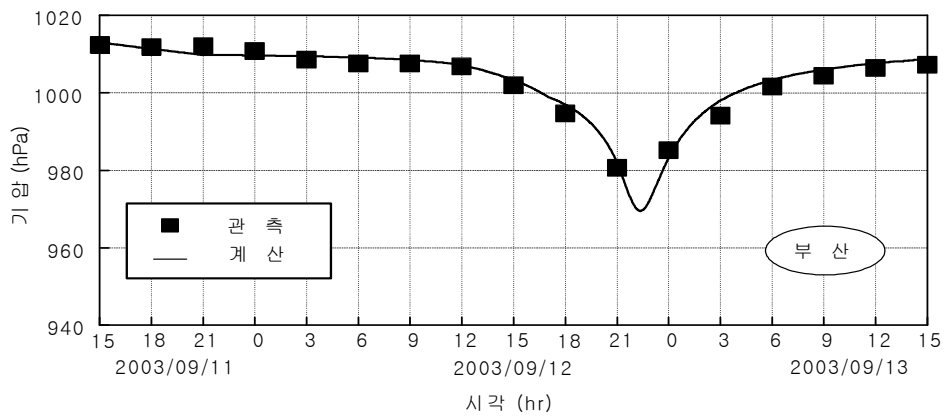
그림-3.5는 태풍 Maemi 통과시에 기상대에서 관측된 기압과 수치시뮬레이션에 의한 기압의 시간변화를 비교한 결과이다. 종축과 횡축은 각각 시각 및 기압변화를 나타내고, 검은 사각형은 관측치를, 실선은 계산치를 각각 나타낸다. 부산의 경우에는 최저기압이 971hPa정도로, 이는 태풍 Maemi시의 최저기압 950hPa보다는 큰 값을 나타내고 있다.

이는 태풍의 중심경로보다 부산이 우측으로 떨어져 있었기 때문으로 판단된다. 반면에, 중심경로(경남 사천시)에 보다 가까운 통영과 마산으로 갈수록 중심기압이 954hPa과 951hPa 정도의 값을 나타내고 있으며, 최저기압 950hPa에 가까운 수치를 나타낸다. 그림-3.5을 통해 알 수 있는 바와 같이 시각의 변화에 따라 각 지역에서의 기압의 변화는 관측치 및 해석치 모두 전체적으로 잘 일치하는 경향을 알 수 있다.

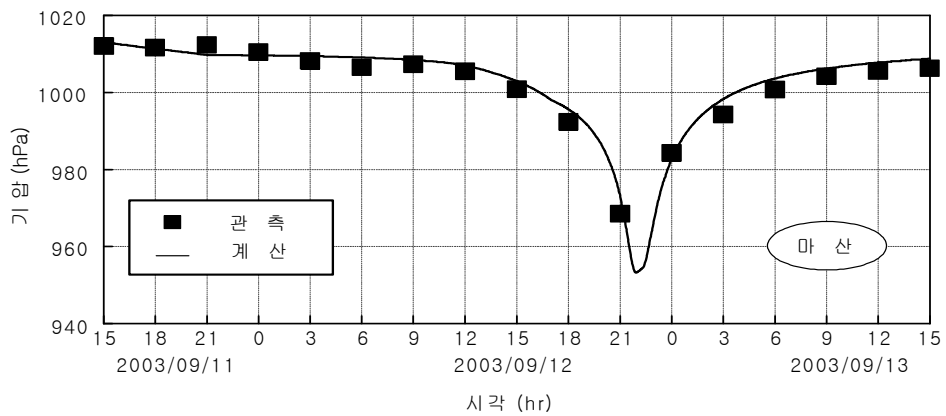
(2) 폭풍해일고

태풍 Maemi 내습시에 부산 연안에 설치되어 있는 파랑관측소 및 검조소로부터 폭풍해일고(기록조위-예측조위)를 얻을 수 있지만, 고파랑에 의한 유실 및 결측 등으로 신뢰할 수 있는 조위기록은 많지 않다. 폭풍해일고에 대해서 부산항 검조소와 인근 마산항 및 통영 검조소의 기록과 비교·검토하여 수치시물레이션에 의한 결과의 타당성을 검증하였다.

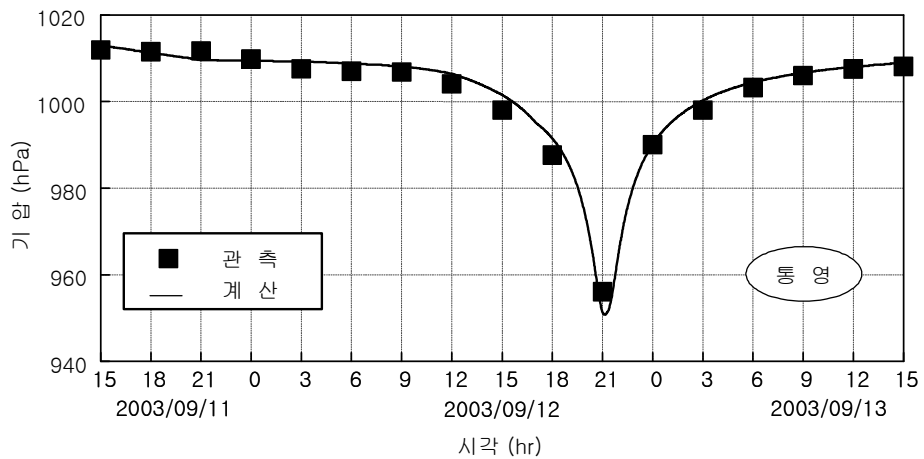
그림-3.6은 태풍 Maemi 통과시에 각 검조소에서 관측된 폭풍해일고와 수치시물레이션에 의한 폭풍해일고의 시간변화를 비교한 결과이다. 그림-3.6(a)의 부산항 검조소에서 관측된 해일고와 해석된 해일고를 비교한 결과를 보면 폭풍해일고의 최대치가 발생하는 시각에서 계산결과가 약간 늦게 나타난다. 그 값에서 관측치는 0.8m 정도이고 계산치는 1.0m 정도를 나타내어 계산치가 다소 큰 값을 나타내지만 만족스러운 대응성을 갖는 것으로 판단된다. 그림-3.6(b)의 마산항 검조소에서 관측된 해일고와 본 연구에서 해석된 해일고를 비교한 결과에서 태풍이 본격적으로 상륙하기 전인 2003년 9월 11일 06시 전후의 관측기록에서 해일고가 하강하고 있는 현상은 일반적으로 이해될 수 없는 현상이며, 이는 기계의 오작동으로 판단된다. 이 부분을 제외하면 시각의 변화에 따른 폭풍해일고의 변화는 매우 잘 일치하는 것으로 판단되며, 여기서 피크치를 나타내고 있는 2003년 9월 12일 22시 전후에서 관측치는 2.3m 정도, 해석치는 2.1m 정도로 약간의 차이를 나타내고 있지만, 미소한 것으로 여겨진다. 그림-3.6(c)의 통영 검조소에서 얻어진 관측결과와 계산결과를 비교한 것을 보면 부산항 검조소와 마찬가지로 피크치에서 계산결과가 약간 늦게 나타난다. 피크치는 관측이 1.65m, 계산이 1.72m로 매우 잘 일치하며, 동시에 시각의 변화에 따른 폭풍해일고의 변화과정도 매우 잘 일치하는 것으로 판단된다. 폭풍해일고의 피크치에서 계산치가 약간 과소평가되고 있지만, 계산치와 관측치와의 전반적인 일치성을 살펴보면 계산치는 관측치를 잘 재현하고 있음을 확인할 수 있다.



(a) 부산

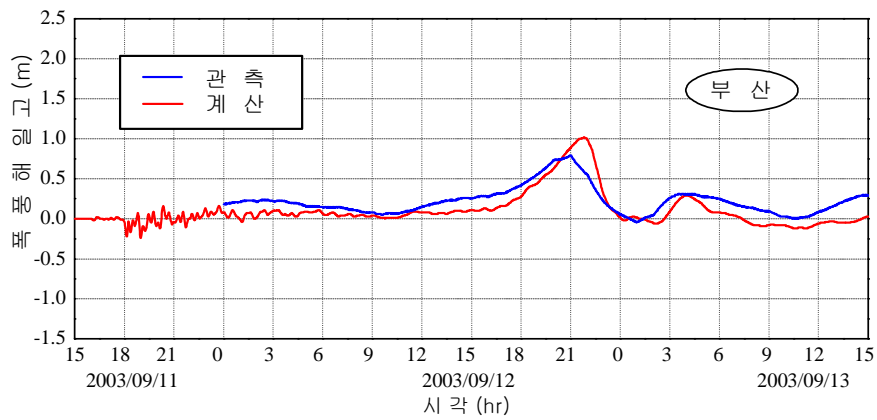


(b) 마산

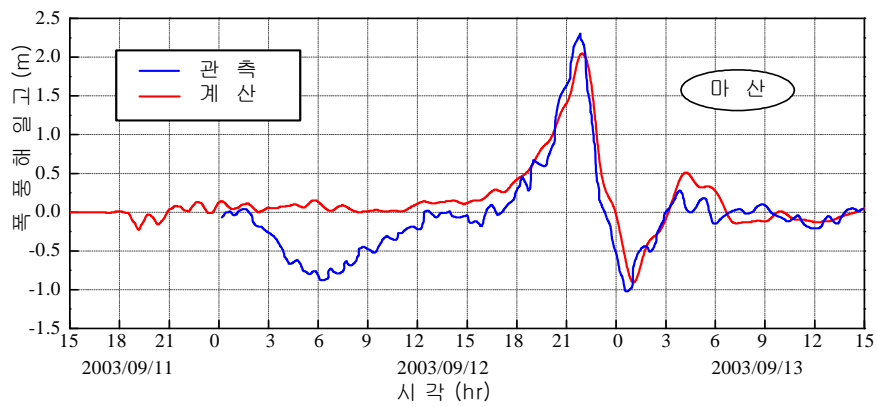


(c) 통영

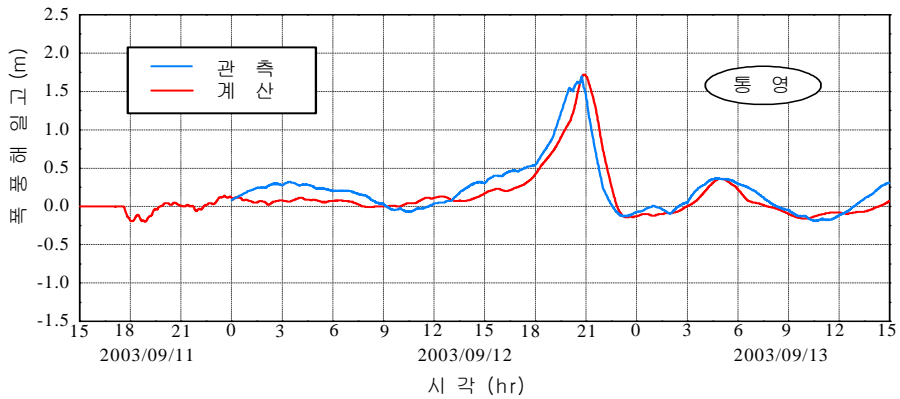
그림- 3.5 태풍 Maemi 내습에 따른 기압의 관측치와 계산치의 비교



(a) 부산



(b) 마산



(c) 통영

그림-3.6 태풍 Maemi 내습시 폭풍해일고의 관측치와 계산치의 비교

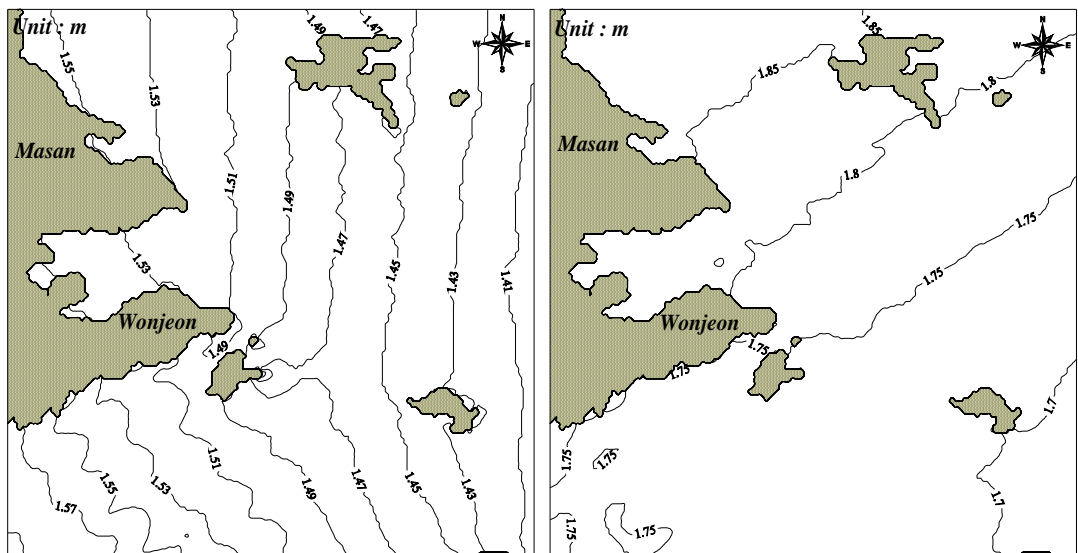
3.1.4 최대폭풍해일고

(1) 태풍 Sarah의 내습시에 최대폭풍해일고

그림-3.7(a)는 태풍 Sarah 내습시에 원전어항의 연안해역에서 최대폭풍해일고의 공간 분포를 나타낸 결과이다. 주변해역에 1.41~1.57m정도의 해일고분포를 확인할 수 있으며, 본 연구의 대상해역인 원전어항내에서는 1.49m의 최대폭풍해일고가 나타난다.

(2) 태풍 Maemi의 내습시에 최대폭풍해일고

그림-3.7(b)는 태풍 Maemi의 내습시에 원전어항의 연안해역에서 최대폭풍해일고의 공간분포를 나타낸 결과이다. 주변해역에 1.70~1.85m정도의 해일고를 확인할 수 있으며, 본 연구의 대상해역인 원전어항내에서는 1.75m의 최대폭풍해일고가 나타난다.



(a) 태풍 Sarah

(b) 태풍 Maemi

그림-3.7 최대폭풍해일고의 공간분포

이상의 태풍 Sarah와 Maemi시의 최대폭풍해일고를 종합하여 나타내면 다음의 표-3.4와 같다. 표로부터 최대폭풍해일고는 태풍 Maemi시에 1.75m로 주어지는 것을 알 수 있다.

표-3.4 태풍 Sarah와 Maemi의 내습시에 최대폭풍해일고

태풍명	원전어항 주변해역에서 최대폭풍해일고(m)
Sarah	1.49
Maemi	1.75

3.1.5 최대폭풍해일고에 대한 기존설계서와의 비교

기존설계서에서 추정한 폭풍해일고와 본 연구에서 추정한 폭풍해일고의 비교결과를 표-3.5에 제시한다. 표로부터 태풍 Sarah의 내습시에는 0.63m, 태풍 Maemi의 내습시에는 0.48m의 폭풍해일고 차를 알 수 있으며, 이는 원전어항의 호안설계에 있어서 고려되어야 할 부분으로, 이후 월파나 침수문제가 발생할 가능성을 나타낸다.

표-3.5 태풍별 최대폭풍해일고의 비교

원전어항의 주변해역에서 최대폭풍해일고(m)	태풍명		
	<i>Thelma</i>	<i>Sarah</i>	<i>Maemi</i>
기존설계서	0.60	0.86	1.27
금회실험치	-	1.49	1.75

3.2 설계파랑

3.2.1 대상영역 및 설계파랑조건

원전어항의 항내정온도를 해석하기 위하여 먼저 3.1절에서 태풍 Sarah와 Maemi를 대상으로 하여 폭풍해일고를 추산하였으며, 그 결과에 의하면 태풍 Sarah보다 태풍 Maemi에 의해 상대적으로 높은 해일고가 추정되었기 때문에 본 절에서는 태풍 Maemi에 대해서만 고려한다. 그리고, 기존의 정온도해석은 원전어항이 심해파의 영향보다는 풍파에 의한 영향이 클 것이라는 판단하에 풍파에 대한 정온도만 해석하였지만 본 연구에서는 태풍 Maemi의 내습시에 심해파를 적용하여 원전어항의 항내정온도를 해석한다.

그리고, 원전어항에 영향을 미칠 수 있는 모든 연안격자점의 신심해설계파(한국해양연

구원, 2005)와 태풍 Maemi의 내습시를 대상으로 한 설계파를 고려하기 위해 광역은 200m, 중역은 50m, 협역은 20m 그리고 상세역은 10m의 격자크기로 설정하여 순차적으로 계산을 수행하였다. 광역은 설계파의 위치에 따라 3경우로 결정하였지만, 중역, 협역 및 상세역은 동일하게 구성하였다. 격자구성에 대한 제반사항을 표-3.6에, 계산영역을 그림-3.8에 각각 제시하며, 광역에 대해서는 AREA No.1-1만을 나타낸다. 고려된 계산영역의 수심데이터와 해안선은 기본적으로 수치해도를 이용하였으며, 협역과 상세역에서 충분하지 않은 수심데이터에 대해서는 실제의 측량데이터를 추가하여 사용하였다(마산지방해양수산청, 2000). 각 영역의 수심에 대해서는 그림-3.9에 나타내었다. 그리고, 태풍 Maemi에 대해 역추산된 설계파(컨테이너부두공단, 2003; 포스코건설, 2004)는 전절에서 해석된 바람장을 계산영역에 일치하도록 하여 계산에 필요한 바람장의 데이터를 추출하였으며, 그 외의 설계파에 대해서는 표-2.6에 제시된 극치통계분석된 바람을 사용하였다. 각 영역에서 천해파랑의 추정시에 적용한 약최고고조위(해양수산부, 2005)와 3.1절에서 추산한 최대폭풍해일고는 다음의 표-3.8(태풍 Maemi의 내습시)과 같으며, 10년, 30년, 50년의 재현빈도에 대한 심해파랑의 조건으로 부산 인근해역에서 검토된 모든 심해파랑조건(한국해양연구원, 2005)을 나타내면 표-3.9~3.14와 같다. 해안선의 상태에 따라 적용한 반사율은 그림-2.4에 제시된 값을 적용하였다.

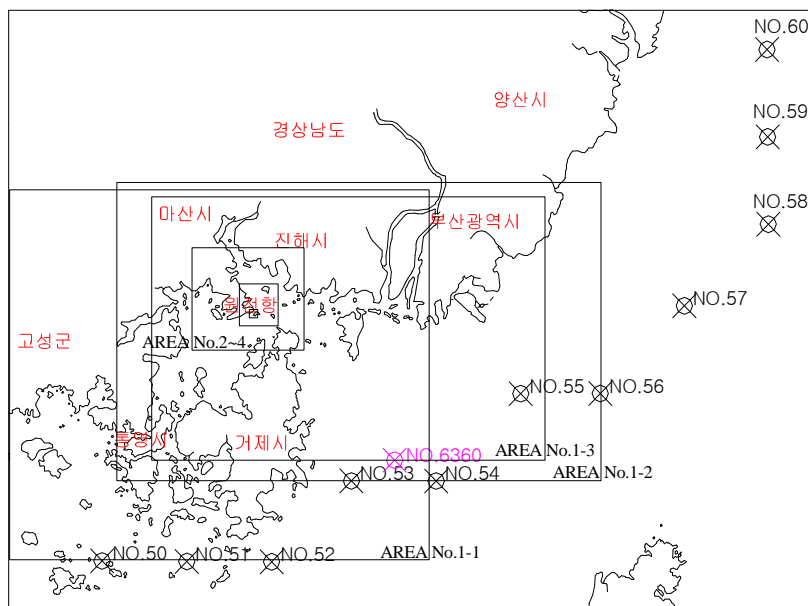
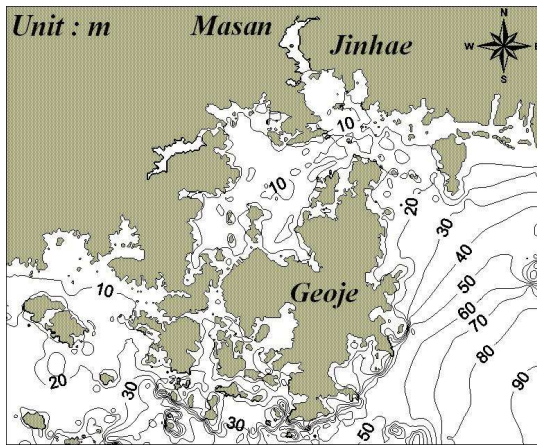
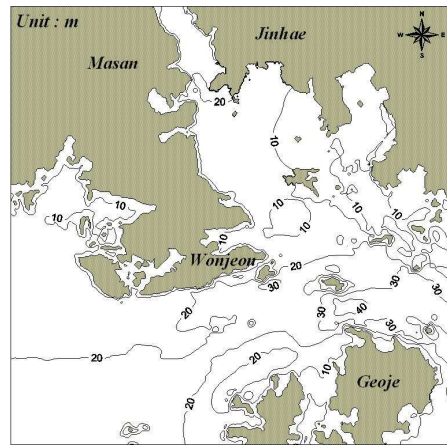


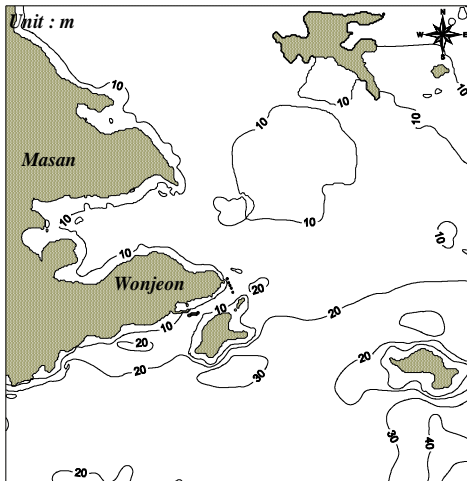
그림-3.8 SWAN의 계산에 적용되는 계산영역



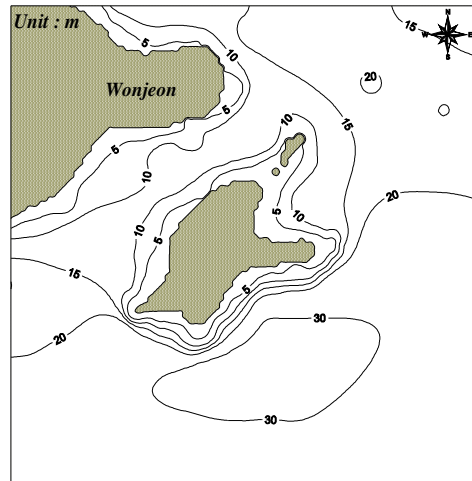
(a) 광역



(b) 중역



(c) 협역



(d) 상세역

그림-3.9 각 영역에서 수심의 공간분포

표-3.6 각 영역에서 격자의 크기 및 개수

구 분	Mesh Size(m)	Imesh×Jmesh	비 고
AREA No.1-1	200	499×310	광역
AREA No.2	50	400×400	중역 No.1-(35,106)
AREA No.3	20	350×350	협역 No.2-(170,144)
AREA No.4	10	220×220	상세역 No.3-(44,22)

표-3.7 태풍 Maemi의 내습시에 설계조위

구 분	약최고고조위(m)	최대폭풍해일고(m)	약최고고조위 +최대폭풍해일고(m)
AREA No.1	2.168	1.75	3.918
AREA No.2			
AREA No.3			
AREA No.3			

표-3.8 원전어항에 적용되는 심해설계파의 제원<NO. 50>

심해파랑 지점	유의파고 $H_s(m)$	유의주기 $T_s(s)$	파 향	빈도 (year)	비 고
N 34.67° E 128.33° 격자번호 069126 <NO. 50>	3.74	8.21	SW	10	case 1
	4.15	9.87	SSW		case 2
	6.58	12.03	S		case 3
	4.20	8.71	SW	30	case 4
	5.35	11.21	SSW		case 5
	9.51	14.46	S		case 6
	4.40	8.91	SW	50	case 7
	5.88	11.75	SSW		case 8
	10.96	15.52	S		case 9

표-3.9 원전어항에 적용되는 심해설계파의 제원<NO. 51>

심해파랑 지점	유의파고 $H_s(m)$	유의주기 $T_s(s)$	파 향	빈도 (year)	비 고
N 34.67° E 128.50° 격자번호 070126 <NO. 51>	3.92	8.45	SW	10	case 10
	4.41	10.18	SSW		case 11
	6.67	12.08	S		case 12
	4.32	8.87	SW	30	case 13
	5.70	11.57	SSW		case 14
	9.65	14.53	S		case 15
	4.48	9.04	SW	50	case 16
	6.27	12.13	SSW		case 17
	11.11	15.60	S		case 18

표-3.10 원전어항에 적용되는 심해설계파의 제원<NO. 52>

심해파랑 지점	유의파고 <i>Hs(m)</i>	유의주기 <i>Ts(s)</i>	파 향	빈도 (<i>year</i>)	비 고
N 34.67° E 128.67° 격자번호 071126 <NO. 52>	3.91	7.36	SW	10	case 19
	4.71	10.49	SSW		case 20
	6.50	11.87	S		case 21
	4.25	7.67	SW	30	case 22
	6.20	12.03	SSW		case 23
	9.17	14.10	S		case 24
	4.39	7.80	SW	50	case 25
	6.86	12.66	SSW		case 26
	10.46	15.06	S		case 27

표-3.11 원전어항에 적용되는 심해설계파의 제원<NO. 53>

심해파랑 지점	유의파고 <i>Hs(m)</i>	유의주기 <i>Ts(s)</i>	파 향	빈도 (<i>year</i>)	비 고
N 34.80° E 128.83° 격자번호 072125 <NO. 53>	4.30	9.98	SSW	10	case 28
	6.24	11.42	S		case 29
	7.31	11.90	SSE		case 30
	7.39	11.51	SE		case 31
	5.57	11.36	SSW	30	case 32
	8.55	13.36	S		case 33
	10.75	14.43	SSE		case 34
	10.51	13.73	SE		case 35
	6.12	11.91	SSW	50	case 36
	9.63	14.18	S		case 37
	12.47	15.54	SSE		case 38
	12.02	14.69	SE		case 39

표-3.12 원전어항에 적용되는 심해설계파의 제원<NO. 54>

심해파랑 지점	유의파고 $H_s(m)$	유의주기 $T_s(s)$	파 향	빈도 (year)	비 고
N 34.80° E 129.00° 격자번호 073125 <NO. 54>	5.06	10.65	SSW	10	case 40
	6.84	11.95	S		case 41
	7.27	11.87	SSE		case 42
	7.26	11.31	SE		case 43
	6.75	12.30	SSW	30	case 44
	9.87	14.37	S		case 45
	10.68	14.39	SSE		case 46
	10.39	13.53	SE		case 47
	7.52	12.98	SSW	50	case 48
	11.37	15.41	S		case 49
	12.39	15.50	SSE		case 50
	11.91	14.49	SE		case 51

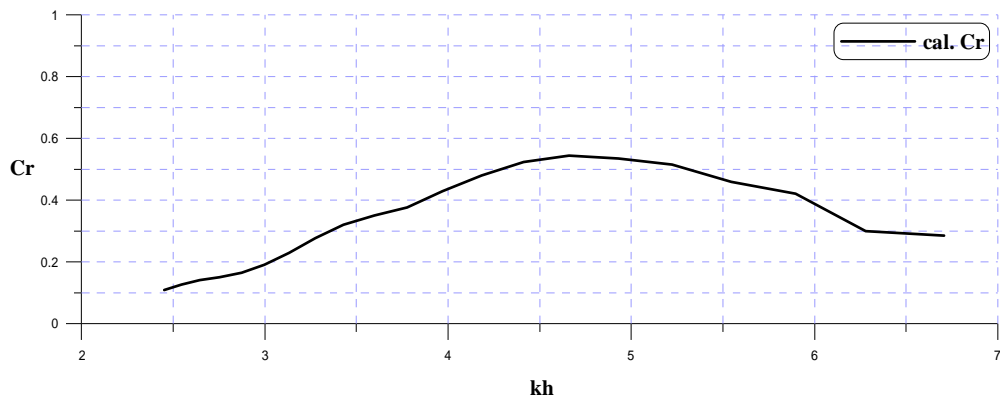
표-3.13 원전어항에 적용되는 심해설계파의 제원<NO. 6360>

심해파랑 지점	유의파고 $H_s(m)$	유의주기 $T_s(s)$	파 향	Maemi	비 고
N 34.50° E 128.55° 격자번호 6360	12.4	15.0	S25°E	Maemi	case 52
	12.8	15.0	S		case 53

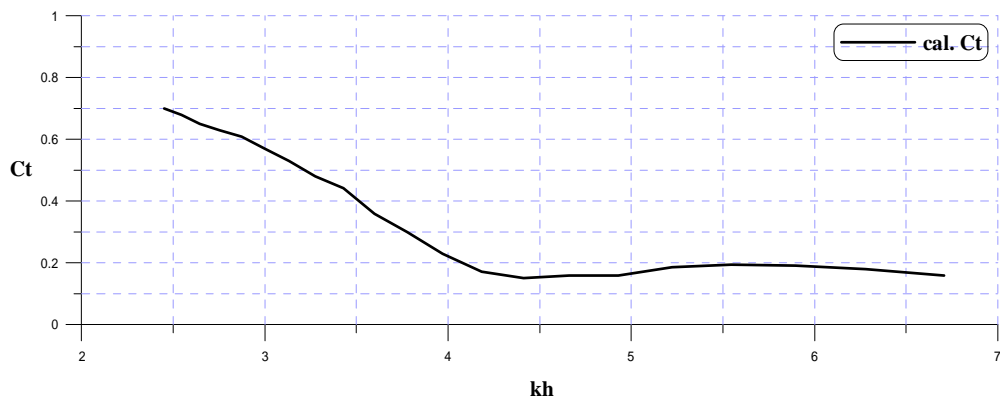
3.2.2 부방파제에 의한 반사율과 전달율의 추정

기존설계서(마산지방해양수산청, 2002)에 주어진 그림-4.7(a), (b)의 반사율과 전달율의 결과를 적용하여 부방파제에 의한 반사율과 전달율을 추정하였다. 이의 결과는 수평축이 원래 주기의 함수로 주어져 있지만, 본 연구에서는 무차원주기 kh 의 함수로 나타낸 것이다.

여기서, 부방파제의 설치위치에서 주기는 본 연구의 정온도해석에서 새롭게 추정되었고, 수심의 산정에 기존의 해석에서 고려되지 않은 폭풍해일고와 조위를 고려하였으며, 이러한 결과로부터 반사율과 전달율을 재추정하여 정온도해석에 적용하였다. 산정된 주기는 전체적으로 기존설계서의 값보다 다소 길어지고, 이로 인하여 반사율은 작아지고, 전달율은 커지는 경향을 나타낼 것으로 판단된다.



(a) 반사율



(b) 전달율

그림-3.10 부방파제의 반사율과 전달율

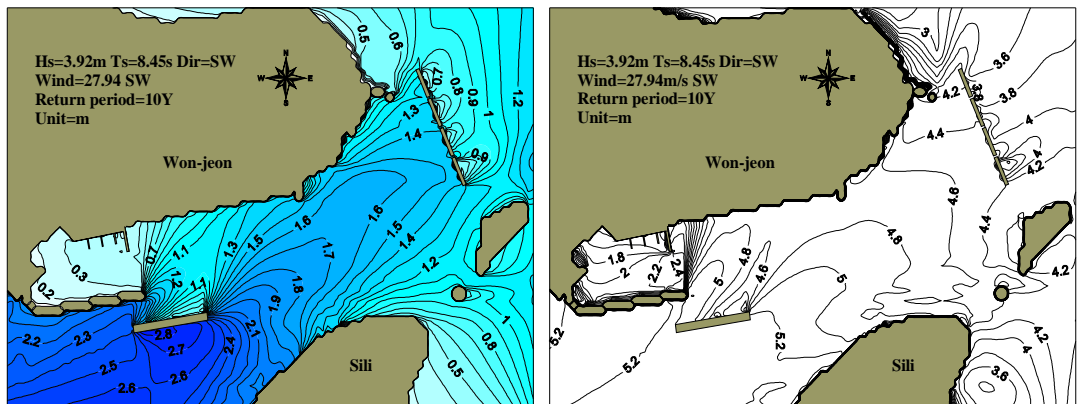
3.3 정온도

3.2절에서 제시된 10년, 30년, 50년빈도의 설계파와 태풍 Maemi의 내습에 따른 역추산된 심해파를 대상으로 항내정온도를 추산하였으며, 그 일례를 설계파의 빈도별, 파향별로 해석하여 제시한다. 여기서는 기존의 원안, 대안-1과 대안-2, 제시안-1과 제시안-2 가운데 채택안인 대안-1의 경우에 대해서만 고려한다.

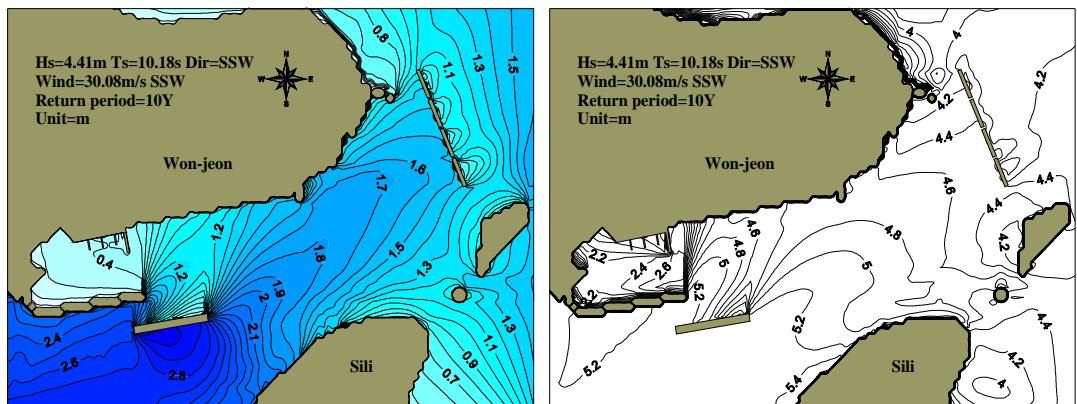
3.3.1 10년빈도

10년빈도의 설계파에 대하여 5개의 파향을 대상으로 하여 원전어항의 주변해역에서

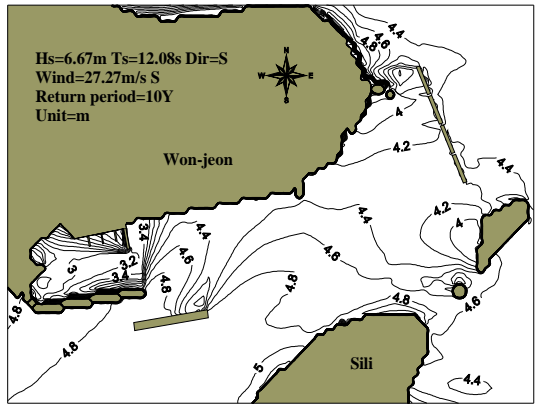
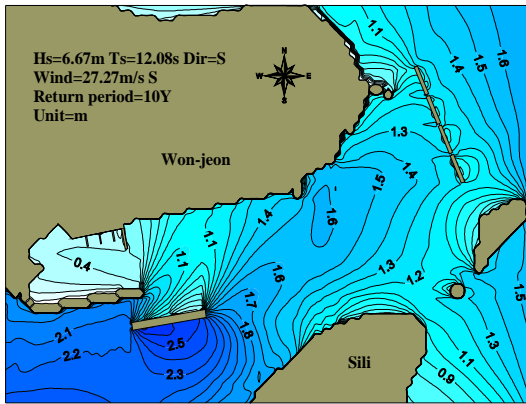
파랑장을 추산하였으며, 그 결과를 그림-3.11에 제시한다. 결과를 살펴보면 SW와 SSW의 파향은 소형선부두내에서 약 0.3~0.4m 정도의 파고분포와 약 2sec 내외의 주기분포가, 서측물양장의 전면해역에서 약 0.5~1.6m 정도의 파고분포와 약 4.6~5.0sec 내외의 주기분포가 나타난다. S와 SSE의 파향에서는 공간분포가 약간 차이가 나며, 소형선부두내에서 약 0.4~0.6m 정도의 파고분포와 약 3~3.6sec 내외의 주기분포가, 서측물양장의 전면해역에서 약 0.6~1.5m 정도의 파고분포와 약 4.2~4.6sec 내외의 주기분포가 나타난다. SE파향은 서측물양장의 전면해역에서는 약 0.8~1.2m로 상대적으로 파고가 낮지만 그 영향이 소형선부두내로 전달되어 약 0.7m의 파고분포가 나타난다. 주기는 서측물양장의 전면해역에서 약 4sec, 소형선부두내에서 약 3.8sec 내외이다. 설계파의 파고, 주기, 파향과 무관하게 서방파제 배후의 항내는 약 0.6~1.2m의 파고분포가 나타남을 알 수 있다.



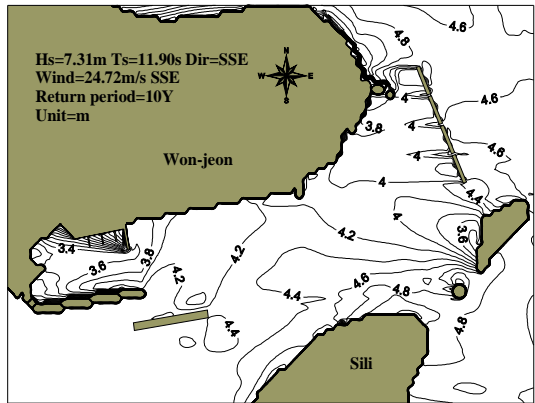
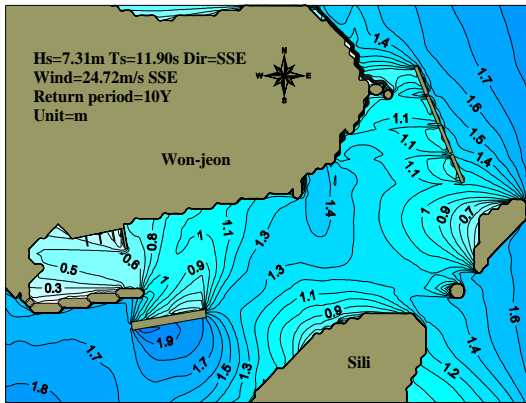
(a) case 10



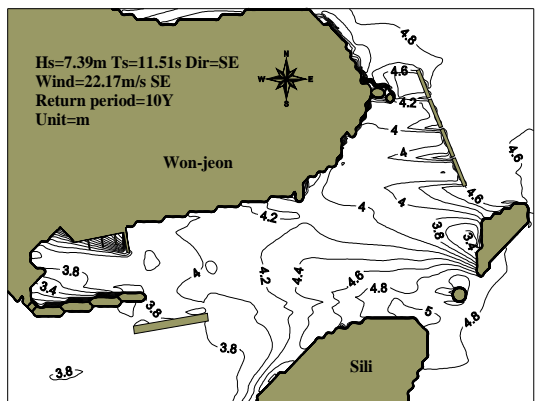
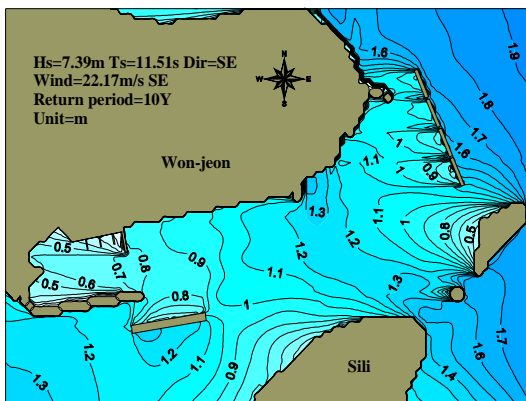
(b) case 11



(c) case 12



(d) case 30



(e) case 31

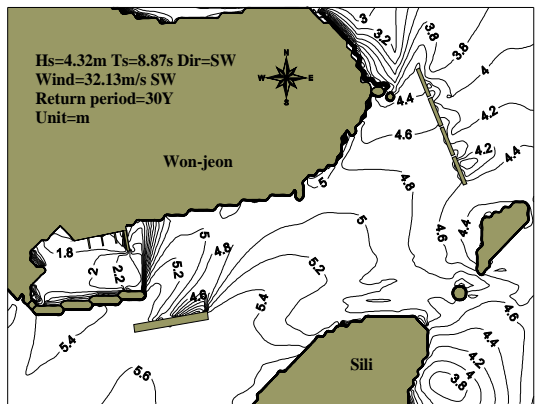
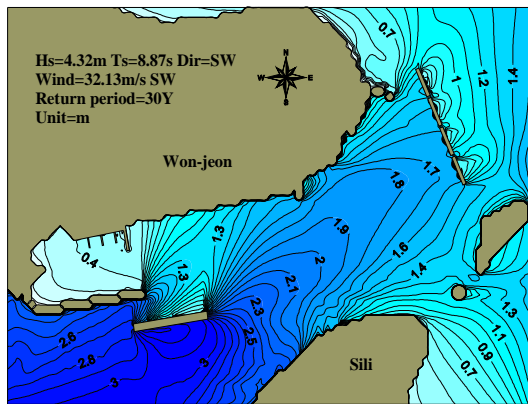
그림-3.11 10년빈도의 설계파에 의한 항내정온도

3.3.2 30년빈도

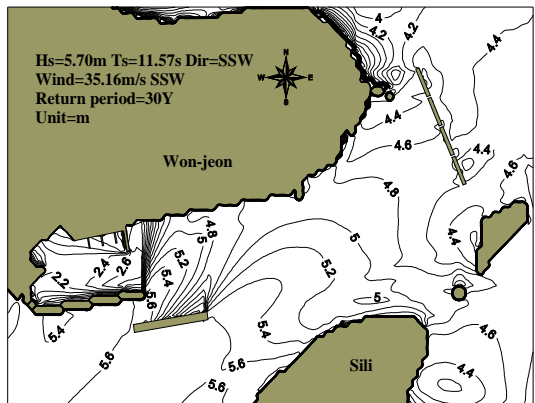
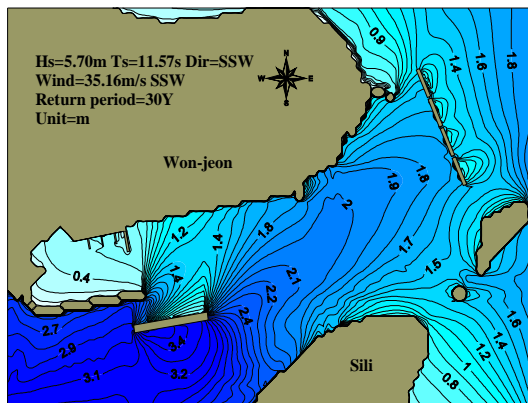
30년빈도의 설계파에 대하여 5개의 파향을 대상으로 하여 원전어항의 주변해역에서 파랑장을 추산하였으며, 그 결과를 그림-3.12에 제시한다. 결과를 살펴보면 SW와 SSW의 파향은 소형선부두내에서 약 0.4~0.5m 정도의 파고분포와 약 2.2sec 내외의 주기분포가, 서측물양장의 전면해역에서 약 0.5~1.7m 정도의 파고분포와 약 5.0sec 내외의 주기분포가 나타난다. S와 SSE의 파향에서는 공간분포가 약간 차이가 나며, 소형선부두내에서 약 0.5~0.7m 정도의 파고분포와 약 3.6sec 내외의 주기분포가, 서측물양장의 전면해역에서 약 0.6~1.8m 정도의 파고분포와 약 4.6sec 내외의 주기분포가 나타난다. 약 3m에 달하는 높은 파고가 방파제에 의해 약 0.8m정도까지 감소되는 것을 확인할 수 있으며, SW, SSW, S파향에 대해서는 방파제가 상당한 파고감쇠의 효과를 발휘하는 것을 알 수 있다. SE파향은 주변해역에서는 약 1.4m로 상대적으로 파고가 낮지만 그 영향이 소형선부두내로 전달되어 약 0.8m의 파고분포가 나타난다. 10년빈도의 설계파와는 달리 설계파의 파향에 따라 서방파제 배후에서 항내의 파고분포는 약간 차이가 발생하며, 최고 약 1.3m의 파고분포가 나타남을 알 수 있다.

3.3.3 50년빈도

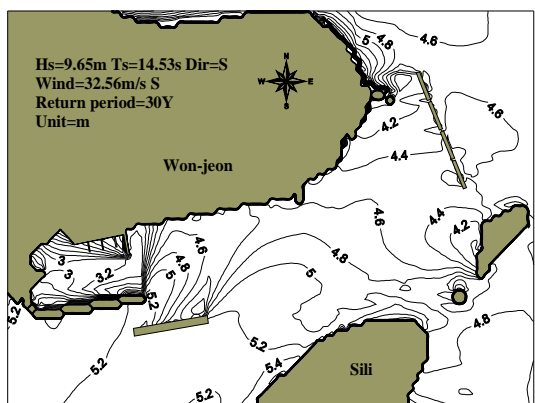
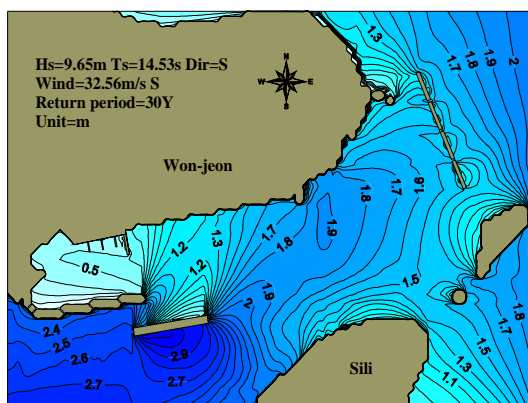
50년빈도의 설계파에 대하여 5개의 파향을 대상으로 하여 원전어항의 주변해역에서 파랑장을 추산하였으며, 그 결과를 그림-3.13에 제시한다. 결과를 살펴보면 SW와 SSW의 파향은 소형선부두내에서 약 0.4~0.5m의 파고분포와 약 2.2sec 내외의 주기분포가, 서측물양장의 전면해역에서 약 2.0m 내외의 파고분포와 약 5sec 내외의 주기분포 나타난다. S와 SSE의 파향에서는 공간분포가 약간 차이가 나며, 소형선부두내에서 약 0.6~0.8m, 서측물양장의 전면해역에서 약 1.8m 내외이다. 주기분포는 소형선부두내에서 약 3.6sec 내외, 서측물양장의 전면해역에서 약 4.8sec 내외가 나타남을 알 수 있다. 30년빈도의 경우와 마찬가지로 방파제 외부의 높은 파고가 서방파제에 의해 상당히 저감됨을 알 수 있으며, SW, SSW, S파향에 대해서는 방파제가 상당한 파고감쇠의 효과를 발휘하는 것을 알 수 있다. SE파향은 주변해역에서는 약 1.5m로 상대적으로 파고가 낮지만 그 영향이 항내로 전달되어 약 0.9m의 파고분포가 나타나지만 30년빈도의 경우와 대동소이한 분포가 나타난다. 파랑빈도는 증가하였으나 30년빈도의 설계파에 대한 경우와 비슷한 양상을 보인다. 주기분포는 서측물양장의 전면해역에서 약 4.2sec 내외이며, 소형선부두내에서 역시 4sec 내외로 나타난다.



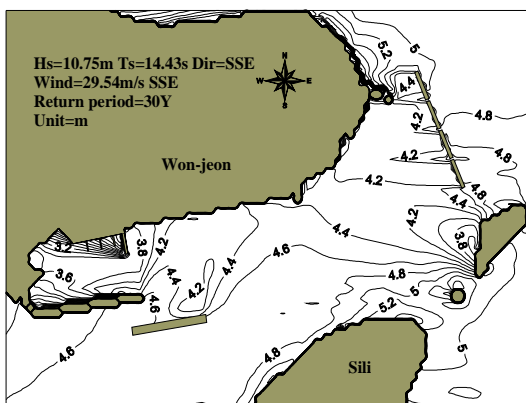
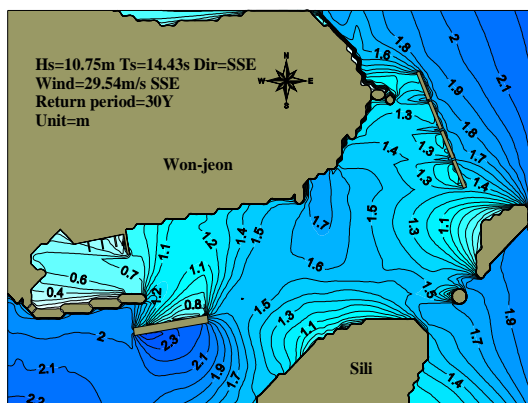
(a) case 13



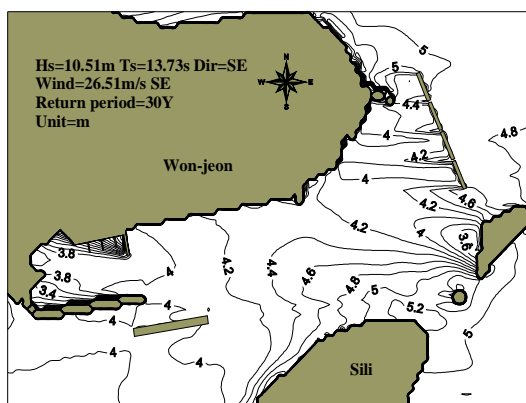
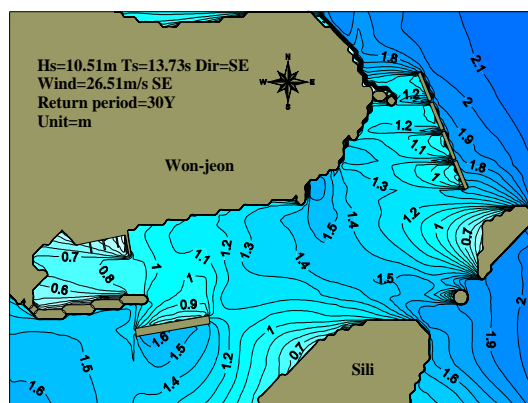
(b) case 14



(c) case 15

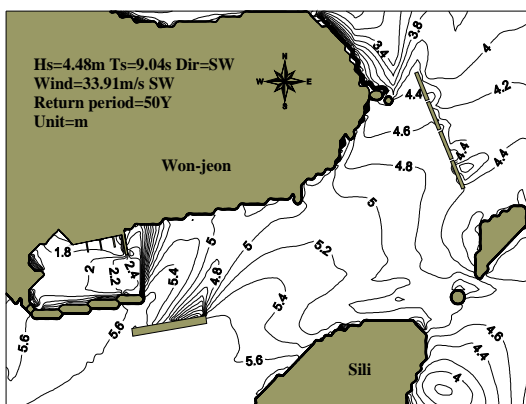
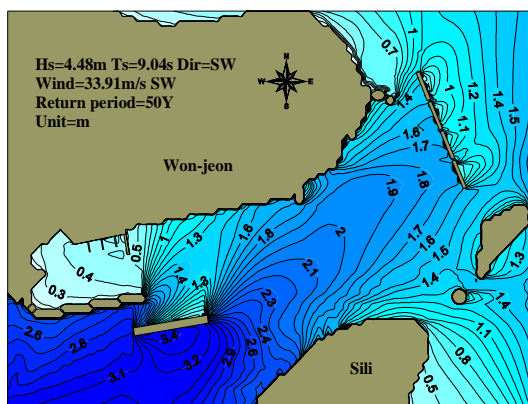


(d) case 34

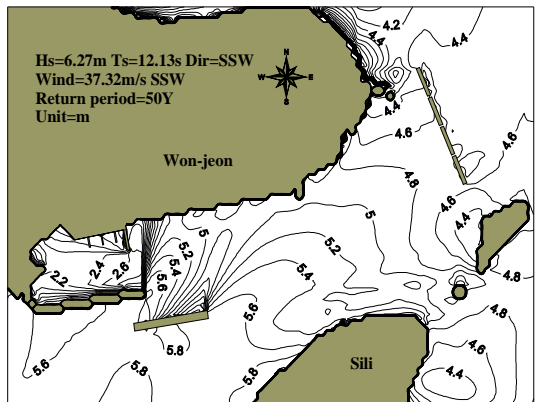
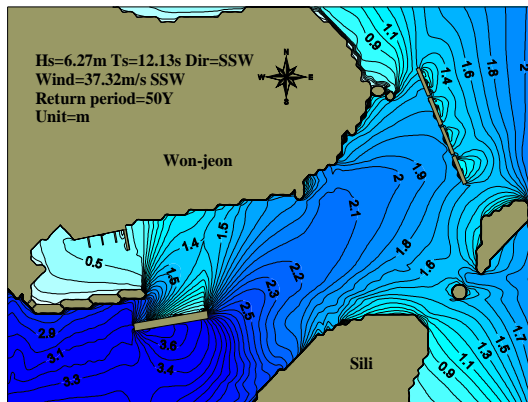


(e) case 35

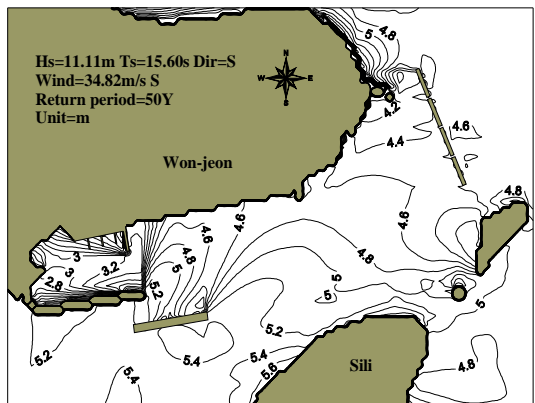
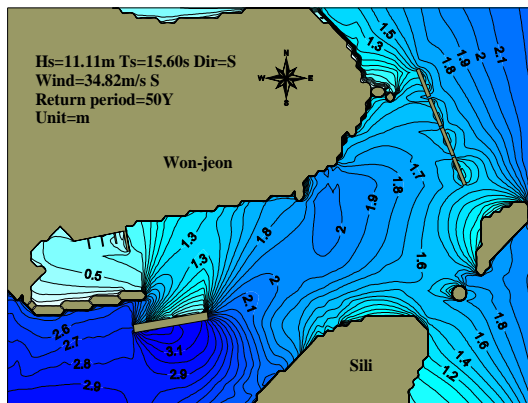
그림-3.12 30년빈도의 설계파에 의한 항내정온도



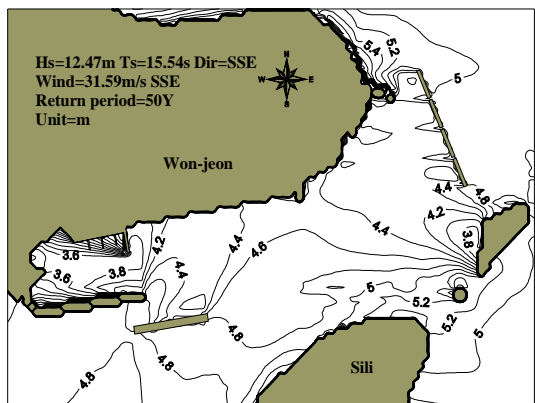
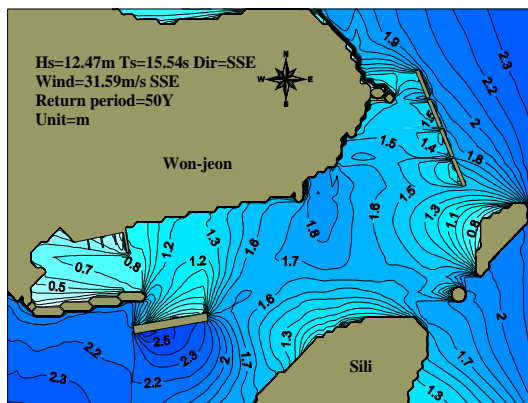
(a) case 16



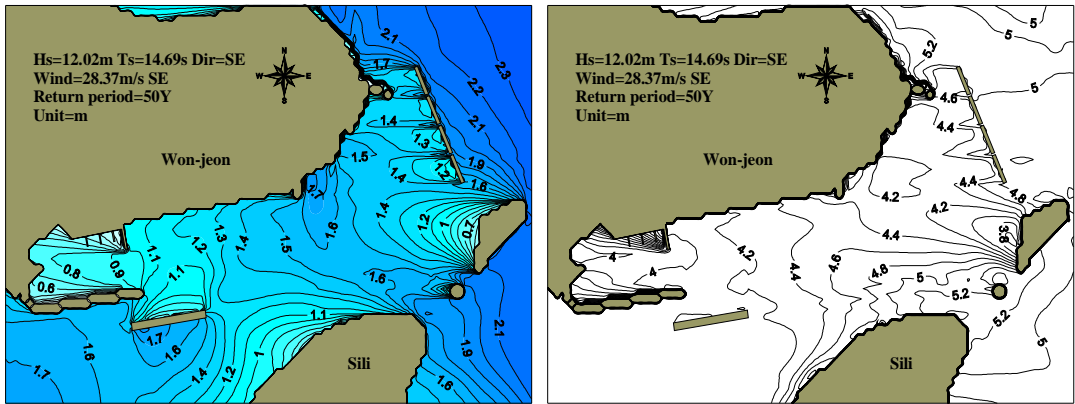
(b) case 17



(c) case 18



(d) case 38

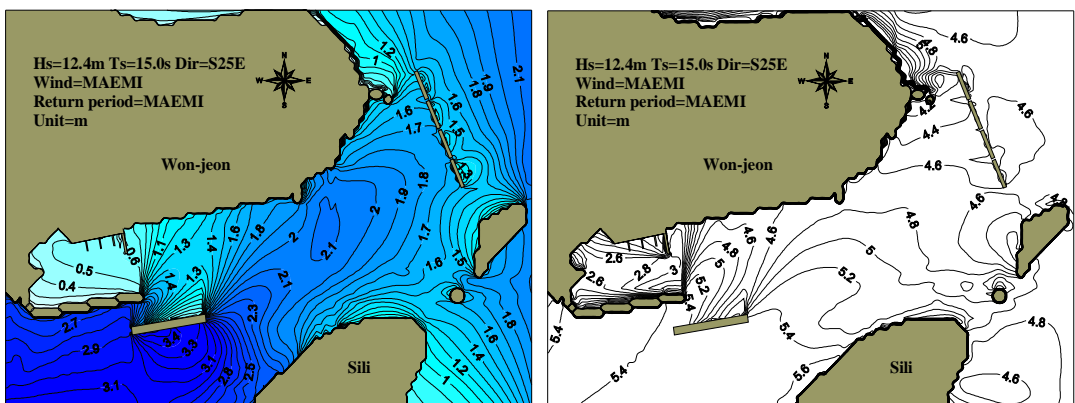


(e) case 39

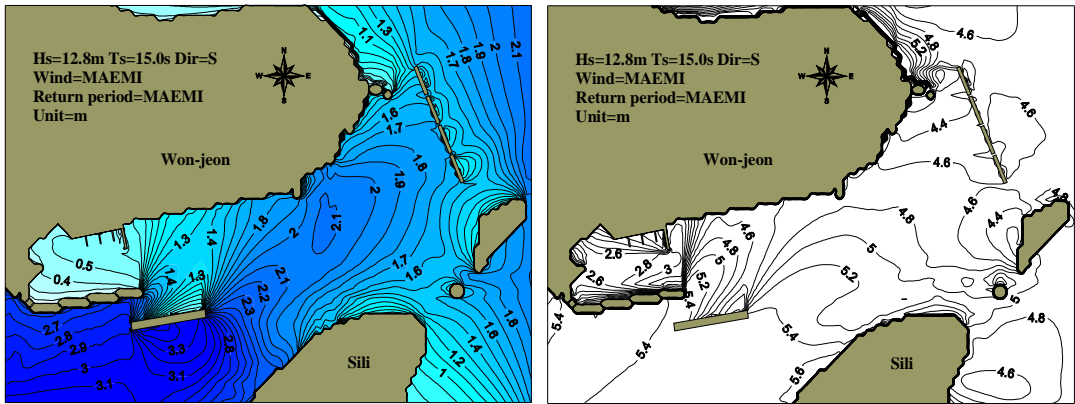
그림-3.13 50년빈도의 설계파에 의한 항내정온도

3.3.4 Maemi의 내습시

태풍 Maemi의 내습시에 역추산된 설계파를 대상으로 하여 원전어항에서 주변해역의 파랑장을 추산하였으며, 그 결과를 그림-3.14에 제시한다. 결과를 살펴보면 2개의 설계파 모두 소형선부두내에서 약 0.5m, 서측물양장의 전면해역에서 약 2m 정도이다. 주기분포는 소형선부두내에서 약 2.8sec 내외, 서측물양장의 전면해역에서 약 5sec 내외로 나타나며, 50년빈도의 설계파에 의한 결과와 대동소이하다. 파랑분포의 형상은 S파향의 경우와 유사하며, 50년빈도의 경우와 마찬가지로 방파제 외부의 높은 파고가 서방파제에 의해 상당히 저감됨을 알 수 있다.



(a) case 52



(b) case 53

그림-3.14 태풍 Maemi 내습시의 항내정온도

3.3.5 기존설계서의 결과와 정온도의 비교

그림-2.13의 기존설계서에서 검토한 항내정온도와 본 연구에서 계산한 정온도를 비교한 결과를 표-3.14에 제시한다. 표를 살펴보면 기존설계서에서 50년빈도의 SW계열은 서측물양장의 전면해역에서 상대적으로 높은 파고분포를 보이며, 그 범위는 약 0.28~1.14m 정도이다. 소형선부두내의 파고분포는 약 0.06~0.12m, 북측물양장은 약 0.31~0.35m 정도로, 서측물양장의 C와 C-1의 지역을 제외하고는 충분한 정온도가 확보되는 것을 알 수 있다. 부방파제의 항내측은 약 0.44~0.64m, 항외측은 약 0.17~0.44m의 파고분포가 나타나며, SW계열의 파랑에 대해 높은 투과율을 가지면서 부방파제의 기능이 충분히 발휘되고 있다는 것을 알 수 있다.

SE계열은 서측물양장에서는 약 0.18~0.39m 정도, 소형선부두내에서는 약 0.08~0.10m 정도, 북측물양장에서는 약 0.15~0.22m 정도의 파고분포가 나타나며, SW계열의 파랑이 내습할 때보다 더 양호한 정온도가 확보됨을 알 수 있다. 부방파제의 항내측은 약 0.23~0.36m, 항외측은 약 1.05~1.13m의 파고분포가 나타나며, SE계열의 파랑에 대해 입사파랑은 적게 투과시키며, 반사율은 높게 가짐으로써 부방파제의 기능이 충분히 발휘되고 있다는 것을 알 수 있다.

본 연구의 계산결과는 SW계열에서 서측물양장의 전면해역은 약 0.5~2.1m 정도의 파고분포를 나타내며, 소형선부두내의 파고분포는 약 0.3~0.5m 정도, 북측물양장은 약 1.0~1.4m 정도로, 소형선부두를 제외한 서측물양장과 북측물양장의 정온도가 확보되지 않음을 알 수 있다. 부방파제의 항내측은 약 1.4~1.7m, 항외측은 약 0.8~1.0m의 파고

분포가 나타나지만, SW계열의 높은 파고를 항외측으로 투과시키는 부분에 있어서 부방파제의 기능을 수행하고 있다고 볼 수 있다.

SE계열에서 서측물양장의 전면해역은 약 0.9~1.7m 정도의 파고분포를 나타내며, 소형선부두내의 파고분포는 약 0.5~0.9m 정도이며, 북측물양장은 약 1.3~1.4m 정도로, SW계열의 계산결과와 마찬가지로 소형선부두를 제외한 서측물양장과 북측물양장의 정온도가 확보되지 않음을 알 수 있다. 부방파제의 항내측은 약 1.2~1.3m, 항외측은 약 1.6~2.1m의 파고분포가 나타나고, 항외측에서 항내측으로 진행하는 SE계열의 높은 파고를 항내측으로 부분적으로 투과시키는 경우에 있어서 부방파제는 그의 기능을 수행하고 있다고 볼 수 있다.

태풍 Maemi의 내습시에 항내정온도의 계산결과는 서측물양장의 전면해역에서 약 0.6~2.0m 정도의 파고분포를 나타내며, 소형선부두내의 파고분포는 약 0.3~0.5m 정도이다. 그리고, 북측물양장은 약 1.3~1.5m 정도로 SE와 SW계열의 계산결과와 마찬가지로 소형선부두를 제외한 서측물양장과 북측물양장의 정온도가 확보되지 않음을 알 수 있으며, 50년빈도의 설계파에 의한 결과와 대동소이함을 알 수 있다. 부방파제의 항내측은 약 1.6~1.7m, 항외측은 약 1.3~1.4m의 파고분포가 나타나고, 항내측에서 항외측으로 진행하는 파랑에 대해 부방파제 주변의 파고는 거의 동일한 분포를 보이므로 부방파제는 기능을 수행하는 것으로 판단된다.

표-3.14 항내정온도의 계산결과의 비교

항내 정 온도	기존설계서(m)		금회실험치(m)		
	SW계열	SE계열	SW계열	SE계열	Maemi
서측물양장	0.28~1.14	0.18~0.39	0.5~2.1	0.9~1.7	0.6~2.0
소형선부두	0.06~0.12	0.08~0.10	0.3~0.5	0.5~0.9	0.3~0.5
북측물양장	0.31~0.35	0.15~0.22	1.0~1.4	1.3~1.4	1.3~1.5
부방파제(항내측)	0.44~0.64	0.23~0.36	1.4~1.7	1.2~1.3	1.6~1.7
부방파제(항외측)	0.17~0.44	1.05~1.13	0.8~1.0	1.6~2.1	1.3~1.4

4. 결론

경상남도 마산시 구산면 심리의 원전어항에 건설되는 부방과제에 의한 정온도 및 구조물의 안정에 관한 재해석을 위하여 영향요소로 평가되는 폭풍해일고 및 항내정온도에 관한 기존설계서를 면밀히 검토함과 동시에, 본 연구에서는 새롭게 원전어항의 개발에 따른 주변해역의 해양물리적인 요소 중에 태풍 Sarah와 Maemi의 내습시에 폭풍해일고를 재산정하였다. 그리고, 10년, 30년, 50년빈도의 심해설계파의 내습에 따른 항내정온도 및 태풍 Maemi의 내습시에 있어서 항내정온도를 재해석하였다. 이와 같은 과정으로부터 얻어진 중요한 사항을 본 논문의 결론으로 하여 아래에 기술한다.

(1) 폭풍해일고의 경우에 태풍 Sarah에 대한 추정치 86cm와 태풍 Maemi에 대한 추정치 127cm는 본 연구에서 추정한 태풍 Sarah에 대한 추정치 149cm, 태풍 Maemi에 대한 추정치 175cm와 비교할 때 약 50cm 정도로 해일고의 차이가 나타난다. 이 해일고의 차이는 호안설계에 있어서 고려되어야 할 중요한 설계요소로, 이후 호안의 배후역에 고파랑의 내습시에 월파나 침수문제가 발생할 여지가 있다.

(2) 기존설계서에서 제시되어 있는 풍파에 의한 항내정온도는 서측물양장의 주변해역에서 약 1.1m 정도, 소형선부두의 주변해역에서 약 0.1m 정도, 북측물양장의 주변해역에서 약 0.3m 정도의 파고분포가 나타나는 반면, 본 연구에서 적용하는 심해파의 내습시에는 서측물양장의 주변해역에서 약 2.0m 정도, 소형선부두의 주변해역에서 약 0.5m 정도, 북측물양장의 주변해역에서 약 1.5m 정도의 파고분포가 형성되므로 기존설계서에서의 항내정온도보다 나빠지는 것을 알 수 있다. 따라서, 어항의 항내정온도에 대한 규정치인 파고 0.3m 이하의 조건을 상회하므로 본 연구에서 적용하는 심해파의 내습에 따라 원전어항내에서 항내정온이 유지되지 않을 수도 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 마산지방해양수산청 (2002). 원전항 건설공사 수치모형실험 및 해양조사보고서 및 부방파제실험 보고서.
- 추교승 (1987). 한국연안에서 발생한 폭풍, 지진해일현상에 대하여, 교통부 수로국.
- 포스코건설과 대한토목학회 (2005). 통영시 부소파제 형식 및 단면산정 연구용역보고서.
- 포스코건설 (2003). 부소파제의 파랑제어 해석법과 기술개발사례 및 설치현황조사.
- 포스코건설 (2004). 03-00부두 태풍피해복구 시설공사 구조 및 수리계산서(제2권 폭풍해일 및 태풍'매미'시 심해파 추정).
- 포스코건설 (2006). 원전항 건설공사 부방파제 설계검토 보고서.
- 한국컨테이너부두공단 (2003). 부산항 컨테이너크레인 태풍피해 원인조사 용역보고서.
- 한국해양연구원 (2005) 전해역 심해설계파 추정보고서 II.
- 해양수산부 (2005). 항만 및 어항설계기준.

- Automated Coastal Engineering System(ACES) (1991). CERC, Dept. of the Army, WES, Corps of Engr. Ver.1.05
- Falconer, R. A., (1986). A Two-dimensional Mathematical Model Study of the Nitrate Levels in an Inland Natural Basin, Proc, Inter. Conf. Water Quality Modellings in the Inland Natural Environ., BHRA, Fluid Engineering Center, Bournemouth, Paper J1, pp 325-344.
- Shore Protection Manual (1984). CERC. US army Corps of Engrng. Vol. 1.